

文章编号:1006-1037(2005)04-0052-04 *

大功率 LD 泵浦被动调 Q Nd:YVO₄/KTP 倍频绿光激光器的研究

付殿岭¹, 李 健², 胡松青¹

(1. 中国石油大学(华东)物理科学与技术学院材料物理系, 山东 东营 257061;

2. 山东师范大学物理与电子科学学院现代光学实验室, 山东 济南 250014)

摘要: LD 泵浦的全固态调 Q 绿光激光器具有高峰值功率、高平均功率、高脉冲能量、光束质量好、体积小、寿命长等特点, 在材料加工、医疗、光谱和空间通讯中具有重要意义。本文用 KTP 晶体进行腔内和腔外倍频, 得到 532 nm 高重复频率、高峰值功率的绿光输出。泵浦功率为 15.3 W 时, 平均输出功率达到了 684 mW; 腔内倍频的准连续绿光的峰值功率最高达到 3.08 kW。最后对腔内倍频实现高峰值功率输出的原因做了简要的探讨。

关键词: Nd:YVO₄; KTP; 被动调 Q; 倍频

中图分类号: TN248

文献标识码: A

LD 泵浦的全固态调 Q 绿光激光器具有高峰值功率、高平均功率、高脉冲能量、光束质量好、体积小、寿命长等特点, 在材料加工、医疗、光谱和空间通讯中具有重要意义。获得绿光的方法多种多样, 有用 LBO 腔内倍频 Nd:YVO₄ 获得瓦级(1.2 W)连续波绿光的激光器^[1]; 有周期极化 KTiOPO₄ 晶体连续倍频绿光输出^[2]; 等等。最常用的还是对掺钕离子固体激光的近红外波进行腔内或腔外倍频, 产生二次谐波。国内在这方面取得了显著成绩, 采用声光调 Q Nd:YAG, KTP 晶体腔内倍频, 获得 20 W 绿光输出^[3], 这是迄今所知的最大的输出功率; 李朝阳等报道的 ns 绿光最高的转换效率可达到 65%^[4]。在本实验中我们用 KTP 腔外和腔内倍频, 得到 532 nm 高重复频率、高峰值功率的绿光输出。

1 实验装置

(1) 腔外倍频

我们利用 KTP 晶体对前面 Nd:YVO₄/Cr⁴⁺:YAG 被动调 Q 得到的 1064 nm 准连续激光通过聚焦后在腔外直接倍频, 实验装置如图 1 所示。

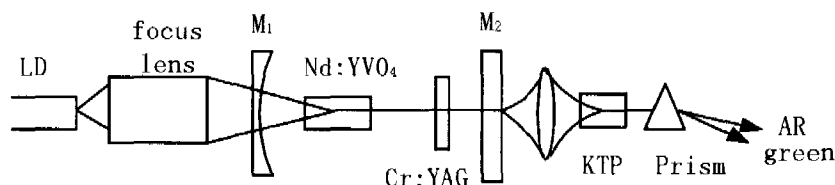


图 1 Nd:YVO₄ 被动调 Q KTP 腔外倍频激光器

采用平-凹腔结构, 腔长取 60 mm。LD 为美国相干公司生产的 FAP-SystemTM 型光纤耦合输出半导体激

* 收稿日期: 2005-08-27

作者简介: 付殿岭, (1976-), 男, 山东省博兴县人, 助教, 硕士, 主要从事非线性光学, 激光器件方面的研究工作。E-mail: fudl2005@yahoo.com.cn

激光器,发射中心波长为 808 nm,最大输出功率 30W,光纤输出孔径 $D=0.8$ mm,数值孔径 0.22。通过聚焦比例为 1:0.8 的聚焦耦合系统注入到尺寸为 $3\times3\times10$ mm³,Nd³⁺ 掺杂浓度 0.5at. %的、沿 c 轴切割的 Nd:YVO₄ 晶体上,注入效率约为 85%。晶体前表面垂直于光轴,镀有 808 nm 和 1064 nm 增透膜,后表面镀有 1.064 μ m 增透膜,为了防止与前表面形成谐振,后表面与前表面成约 1°的夹角,晶体放在紫铜冷却器中使用循环水冷却。谐振腔由 $R=200$ mm 的凹面输入镜和对 1064 nm 有一定透过率的输出平面镜组成,凹面镜外表面镀有 808 nm 的增透膜,内表面同时镀有 1064 nm 的高反膜及 808 nm 的增透膜。Cr⁴⁺:YAG 晶体初始透过率 60%,尺寸为 $4\times4\times2$ mm³,置于紫铜冷却器中紧靠输出镜放置。在腔外放一焦距为 50 mm 的聚焦透镜,在焦点附近按 45°放置 KTP 晶体。晶体尺寸 $6\times6\times8$ mm³,匹配角度 23.5°,两通光面镀 1064/532 nm 双色增透膜,其后放置一分光棱镜,将近红外光与绿光分开,然后用功率计(IP-3B 型)测量绿光输出。

更换不同透过率的输出镜,用功率计测量绿光输出平均功率随泵浦功率的变化情况选用透过率为 40% 的输出镜时,得到的输出功率高。因为我们使用的 Cr:YAG 的初始透过率为 60%,正好与 40% 的输出耦合镜匹配,提高了绿光平均输出功率。

(2) 腔内准连续光倍频

实验装置如图 2。腔长保持 60 mm,腔内放入 Cr⁴⁺:YAG,置于 Nd:YVO₄ 和 KTP 之间,输出镜是对 1064 nm 全反的平面镜,调节谐振腔处于最佳状态。其他参数不变。调节好激光器,用功率计测量输出功率。

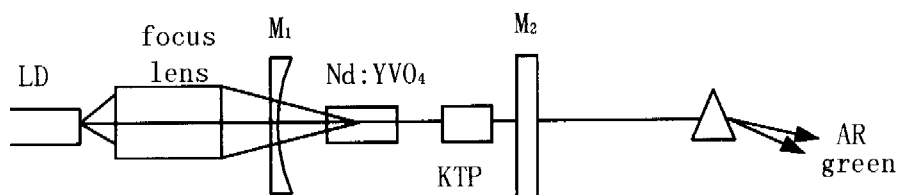


图 2 LD 泵浦 Nd:YVO₄/KTP 腔内倍频绿光激光器

2 实验结果与讨论

(1) 腔外直接倍频时选用最佳透过率(40%)的耦合输出镜,用快速光电管(PIN)和 Tektronix 示波器测量 532 nm 脉冲的脉宽($\Delta\tau$)、周期(T),根据公式 $F=1/T$ 求重复频率(F), $P_{\text{峰}}=P_{\text{平}}/F\cdot\Delta\tau$ 求峰值功率,从图中可以看出,泵浦功率增加,脉冲的重复频率(图 3)和峰值功率(图 5)也随着近似成线性增大;而脉冲宽度(图 4)呈现出线性下降趋势。当泵浦功率为 12.7 W 时,输出光经过棱镜分光后得到重复频率 21 kHz、脉冲宽度 13 ns、峰值功率达到 750 W 的准连续绿光。示波器记录了阈值附近和高泵浦功率时的脉冲波形。(图 7,8)

(2) 腔内准连续光倍频时,实验过程中,我们发现输出光对 KTP 的放置角度比较敏感;而在被动调 Q 状态时,KTP 的调协操作相对要容易一些。连续光状态下,谐振腔内功率密度分布比调 Q 状态的均匀,但是总体水平不高,因此倍频只发生在严格满足匹配条件的方向上;而调 Q 状态下能产生高峰值功率的脉冲,使得谐振腔内的功率密度大幅度上升,所以很容易发生倍频过程。

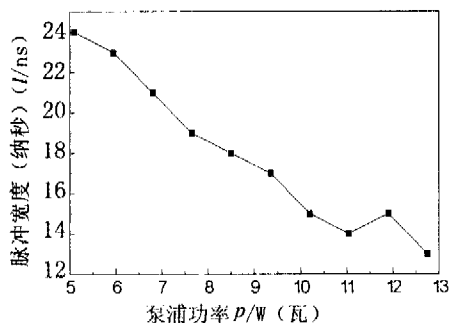


图 3 脉冲宽度随泵浦功率变化的曲线

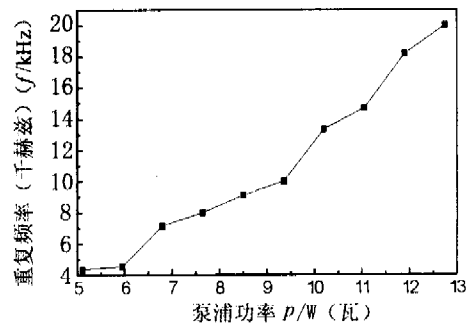


图 4 脉冲重复频率随泵浦功率变化的曲线

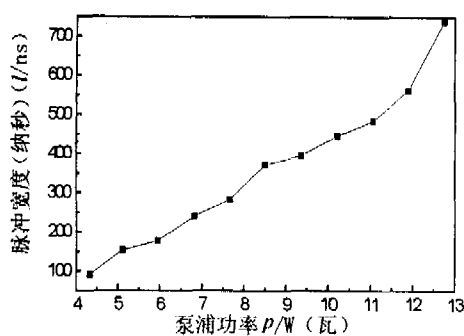


图 5 腔外倍频绿光峰值功率随泵浦功率的变化曲线

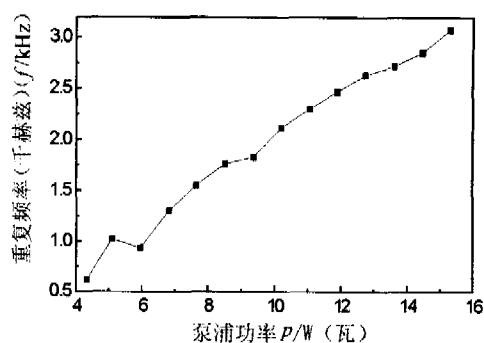


图 6 腔内倍频绿光峰值功率随泵浦功率的变化曲线

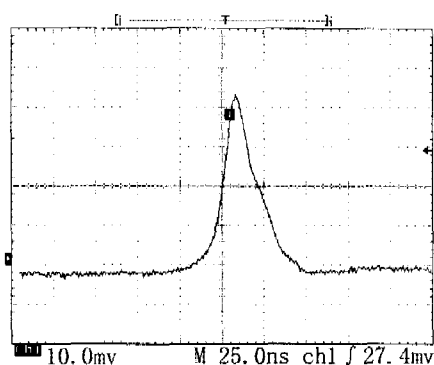


图 7 泵浦功率为 5W 时的脉冲波形(22ns)

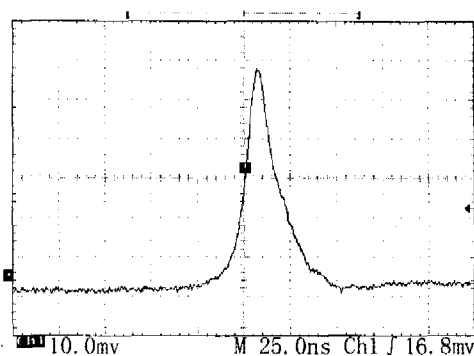


图 8 泵浦功率为 10W 时的脉冲波形(17ns)

Cr^{4+} :YAG 晶体有一个很明显的特点,就是对激光器振荡波长有强烈的吸收作用,而且随着入射光的增强,吸收系数减小。泵浦初期, Cr^{4+} :YAG 吸收谐振腔内一部分能量,腔内的损耗较大,因此阈值高。泵浦功率增加,其透过率也跟着增大,当泵浦功率达到一定数值时, Cr^{4+} :YAG 对泵光变成透明的。腔内积累的巨能量以脉冲形式注入到 KTP 晶体中,所以倍频晶体内的功率密度非常高,转换成的绿光功率自然就大。在泵浦功率为 15.3 W 时,平均输出功率达到了 684 mW。与类似的实验相比,输出不是很高,一是因为输出镜仅对 1064 nm 镀的全反膜,而没有镀对 532 nm 的高透膜,造成产生的绿光又有一部分回到谐振腔内,如果用镀双层膜的输出镜,相信会有更高的输出功率。二是由于实验条件的限制,没用最大功率泵浦,怕损坏晶体。连续光泵浦时,虽然阈值低,但腔内能量相对分散,注入到 KTP 内的功率密度不如调 Q 时候高,转换的绿光功率低。

腔内倍频准连续绿光的峰值功率的变化趋势(图 6),并且与腔外倍频的准连续绿光的峰值功率(图 5)作了比较。从图中可以看出,腔内倍频的准连续绿光的峰值功率(最高 3.08 kW)远远高于腔外倍频的(最高 750 W)。腔内倍频时,谐振腔内产生的 1064 nm 激光全部用于倍频过程产生 532 nm 激光,因此得到的平均功率高;腔外倍频时,只有谐振腔产生的 1064 nm 红外光输出部分用于倍频过程,所以得到的平均功率相对来说要低。再加上,准连续激光的脉冲特性(如脉冲周期、脉宽等)在上述两种情况下基本一致,因此,计算得到的腔内倍频时的峰值功率高于腔外倍频的峰值功率。

3 结论

用 KTP 作为倍频晶体,大功率 LD 泵浦进行腔内倍频,当泵浦功率为 15.3 W 时,平均输出功率为 684 mW,准连续绿光峰值功率最高达 3.08 kW,得到了高重复频率,高峰值功率的绿光输出。

参考文献:

- [1] 何京良,王建明,等. 激光二极管泵浦 Nd:YVO₄/LBO 腔内倍频瓦级连续波绿光激光器[J]. 光学学报, 1998, 18(7): 862.
- [2] 于建,倪文俊,等. 周期极化 KTiOPO₄ 晶体连续倍频绿光输出[J]. 光学学报, 2003, 23(7): 793.
- [3] 王涛,姚建铨,等. 准连续 Nd:YAG 倍频高功率绿光激光器的研究[J]. 光电子·激光, 2002, 13(6): 575.
- [4] 李朝阳,王勇刚,等. LBO 晶体非临界相位匹配倍频研究[J]. 北京工业大学学报, 2003, 2(92): 221.

Study of Passively Q-switched Nd:YVO₄/KTP Frequency Doubling Laser Pumped by High-power Laser-diode

FU Dian-ling¹, LI Jian², HU Song-qing¹

(1. Department of physics, University petrol of China, Dongying 257061, China;

2. Modern optical laboratory, Department of physics, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Passively Q-switched Nd:YVO₄/KTP frequency doubling laser pumped by high-power laser-diode laser has much advantage, such as high peak power, high average power, high pulse energy etc. We study the frequency doubling through in cavity and out-cavity, and obtain that output-pulse frequency is 532 nm through out cavity double frequency, average output power is 684 mW, and peak power is 3.08 kW.

Key words: Nd:YVO₄; KTP; passively Q-switched; frequency-doubling