

文章编号:1001-5078(2007)05-0430-02

LD 泵浦声光调 Q 窄脉宽 532nm 激光器

苏艳丽¹, 姜其畅¹, 何京良²

(1. 山西运城学院物理与电子工程系, 山西 运城 044000; 2. 山东师范大学物理与电子科学学院, 山东 济南 250014)

摘要:报道了一种半导体激光器泵浦的声光调 Q 腔外倍频 Nd:YVO₄ 激光器。当注入泵浦功率为 10.3W, 重复频率为 20kHz 时, 1064nm 近红外激光输出为 2.9W, 脉冲半高宽度 20ns, 峰值功率 7.25kW。对应的绿光输出功率 650mW, 脉冲半高宽度 12ns, 单脉冲能量 32.5μJ, 峰值功率 2.7kW。

关键词:声光调 Q ; 腔外倍频; Nd:YVO₄ 晶体

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

LD-pumped Acousto-optical Q -switched 532nm Laser with Narrow Pulse Width

SU Yan-li¹, JIANG Qi-chang¹, HE Jing-liang²

(1. Department of Physics and Electrical Engineering, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China;

2. College of Physics and Electronics, Shandong Normal University, Ji'nan 250014, China)

Abstract: A diode-pumped acousto-optical Q -switched external frequency-doubled Nd:YVO₄ laser is reported. At 10.3W of incident pump power, the average power of 2.9W at 1064nm with the pulse width of 20ns and the highest peak power of 7.25kW is achieved. Accordingly, the average power of 650mW at 532nm is achieved. The pulse width is 12ns, the pulse energy is 32.5μJ and the peak power is 2.7kW.

Key words: acousto-optical Q -switched; external frequency-doubled; Nd:YVO₄ crystal

1 引言

目前对于绿光的获得,最直接的方法是对掺钕离子固体激光的近红外波进行腔内或腔外频率转换,产生二次谐波^[1-5]。采用腔内倍频,可以提高谐波的转换效率,但是聚焦耦合会使晶体热畸变效应加剧,造成明显的非线性吸收,稳定性难以提高。对于腔外倍频,优点是谐波的模式较好,输出功率稳定;缺点是基波单次通过,谐波转换效率较低。外腔共振倍频稳定性好,转化效率也较高,但对腔匹配条件要求苛刻,结构也较为复杂。本文主要研究 LD 泵浦声光调 Q Nd:YVO₄/KTP 腔外倍频激光器的运转特性。当注入泵浦功率为 10.3W,重复频率为 20kHz 时,获得输出功率为 650mW 的稳定绿光输

出,相应的脉冲半高宽度为 12ns,单脉冲能量 32.5μJ,峰值功率为 2.7kW。

2 实验装置

LD 端面泵浦 Nd:YVO₄/KTP 晶体腔外倍频激光器实验装置如图 1 所示。

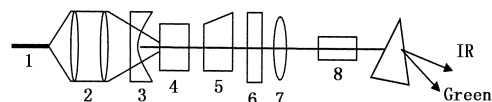


图1 腔外倍频实验装置图

1 - LD; 2 - Focus lens; 3 - R₁; 4 - Nd:YVO₄;

5 - A - Q; 6 - R₂; 7 - f; 8 - KTP

作者简介:苏艳丽(1979-),教师,主要从事全固态激光器器件研究。E-mail:syli1979@163.com

收稿日期:2006-09-27

泵源为美国相干公司生产的 FAP - SystemTM 型光纤耦合输出半导体激光器, 室温下中心波长为 808nm, 数值孔径为 0.22, 光纤输出孔径 $D = 0.8\text{mm}$, 最大输出功率为 30W。泵光由准直聚焦系统压缩后耦合到增益介质 Nd:YVO₄ 上。谐振腔采用平 - 凹结构, 腔长 100mm。输入镜为一平凹镜, 曲率半径 R_1 为 200mm, 平面镀 808nm 增透膜, 凹面镀 1064nm 高反膜, 808nm 高透膜。Nd:YVO₄ 晶体尺寸为 $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 8\text{mm}$, α 轴切割, 掺杂浓度为 0.3at%, 两面镀 1064nm/808nm 增透膜, 晶体用铜箔包裹后放在紫铜夹具中采用水循环冷却。声光 Q 开关型号为 QSGSU - 5, 驱动系统超声频率为 40MHz, 功率 5W; 工作波长为 $1.06\mu\text{m}$; 调制频率 (1 ~ 50) kHz 连续可调, 衍射损耗 85%。输出耦合镜 R_2 为一平镜, 对 1064nm 光波透过率为 20%。聚焦透镜的焦距 $f = 50\text{mm}$, KTP 晶体放在其焦点附近。KTP 晶体采用 II 类相位匹配 ($\theta = 90^\circ$, $\varphi = 23.6^\circ$), 尺寸是 $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 8\text{mm}$, 为了获得高的转换效率, KTP 晶体按 45° 放置 (KTP 晶体的快轴和 Nd:YVO₄ 晶体的光轴夹角为 45°) 并且两面镀 1064nm/532nm 光波增透膜。在光路最后放置一分光棱镜, 将近红外与绿光分开, 利用功率计分别测得近红外和绿光的输出功率。

3 实验结果与分析

我们分别研究了不同重复频率下 1064nm 基波和 532nm 绿光的准连续运转特性。当注入泵浦功率 10.3W, 重复频率为 20kHz 时, 1064nm 近红外激光输出为 2.9W, 脉冲半高宽度 20ns, 峰值功率 7.25kW (如图 2 所示)。此时相应的绿光输出功率为 650mW, 脉冲半高宽度 12ns, 单脉冲能量 $32.5\mu\text{J}$, 峰值功率 2.7kW (如图 3 所示)。

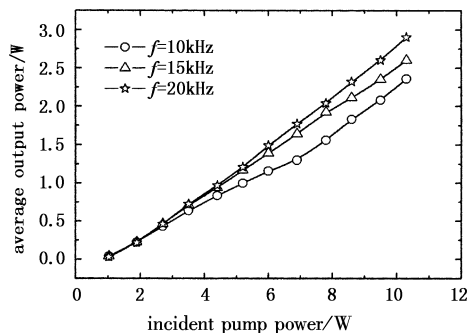


图 2 1064nm 平均输出功率与注入泵浦功率的关系

从图 2 可以看出随着泵浦功率的增加, 声光重复频率越高, 基频平均输出功率越大, 而且基频光的

输出功率比较稳定, 几乎成线性增加; 从图 3 可以看出绿光平均输出功率随着泵浦功率的增加而增大, 当泵浦功率增加到一定值时, 绿光输出功率由于热效应的影响而变得不稳, 实验中重复频率越低, 热效应越严重。

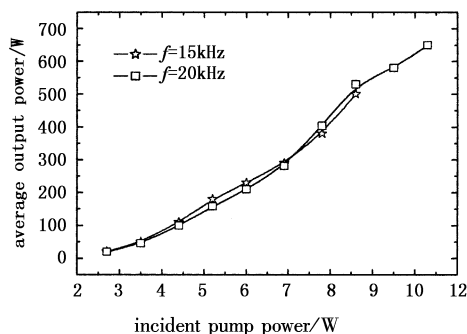


图 3 532nm 平均输出功率与注入泵浦功率的关系

图 4 为泵浦功率 10.3W, 重复频率 20kHz 时输出的绿光波形。

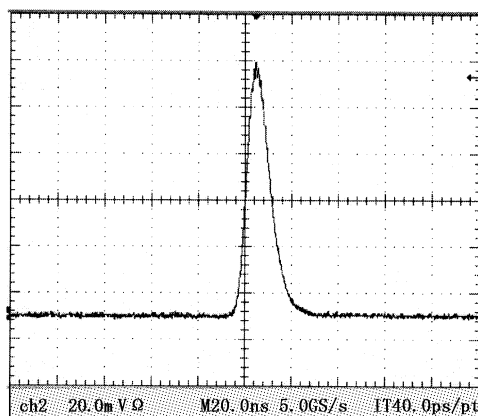


图 4 泵浦功率为 10.3W 重复频率为 20kHz 时输出的绿光波形

实验中观察到在谐振腔参数不变的条件下, 在一定范围内, 当固定抽运功率而改变调 Q 重复频率, 或者固定调 Q 重复频率而改变抽运功率, 测得的绿光脉冲宽度没有明显变化。这是由于在脉冲重复频率不太大时, 调 Q 脉冲宽度主要是由光子在谐振腔内的寿命决定, 在谐振腔参数不变的条件下, 改变抽运功率和调制重复频率对调 Q 脉冲宽度影响不大^[6]。

4 结论

我们利用 LD 泵浦 Nd:YVO₄/KTP 晶体, 实现了声光调 Q 腔外倍频绿光输出。当注入泵浦功率为 10.3W, 重复频率为 20kHz 时, 获得绿光输出功率为 650mW, 脉冲半高宽度为 12ns, 单脉冲能量为 $32.5\mu\text{J}$,

(下转第 434 页)

(4)要做相应变化)。

若 $R_i \gg \max(\Delta_{ia}, \Delta_{ib})$, 这样可得到:

$$L_{0i} = R_i - \frac{(\Delta_{ia} - \Delta_{ib})^2}{4R_i} \approx R_i$$

$$\omega_{0i}^4 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \left(1 - \frac{(\Delta_{ia} - \Delta_{ib})^2}{4R_i^2}\right) \frac{(\Delta_{ia} - \Delta_{ib})^2}{4} \approx \left(\frac{(\Delta_{ia} - \Delta_{ib})\lambda}{2\pi}\right)^2 \quad (5)$$

4 计算实例

例1:求 $d_1 = 1.7\text{m}$, $d_2 = 0.2\text{m}$, $f = 0.1\text{m}$, $R_1 = 15\text{m}$ 时,谐振腔的稳定条件。

由式(2)计算 δ_2 稳定区为 $(-0.0067, 0.0625)$, $(-0.9767, -0.9075)$, 进而得 $\omega_{02} = 0.108\text{mm}$, $L_{02} = 0.097\text{m}$ 。取 $\delta_2 = 0.0028\text{m}$, 可以得到 δ_1 有两个稳定区 $(1, 33)$, $(-149, -117)$, 计算可得 $\omega_{01} = 2.31\text{mm}$, $L_{01} = 0.16\text{m}$ 。

例2:求 $d_1 = 1.7\text{m}$, $d_2 = 0.3\text{m}$, $f = 0.15\text{m}$, $R_1 = +\infty$ 时,谐振腔的稳定条件。

根据式(2)和式(3),在 R_2 的稳定区 $(0.1354, 0.1498)$ 中取 $R_2 = 0.14$, 得到 δ_2 的稳定区为 $(0, 0.0145)$ 和 $(-0.140, -0.125)$, $\omega_{02} = 0.15\text{mm}$, $L_{02} = 0.14\text{m}$, 进而可以得到 δ_1 的稳定区为 $(0.15, 2.25)$ 和 $(0.15 - R_1, 2.25 - R_1)$, $\omega_{01} = 1.83\text{mm}$ 。

可以看到 δ_1 的前一个区域正是通常所认为的区域,这一区域只是谐振腔稳定区域的其中一部分,是不完全的,实际上,从上面计算可知,当 (δ_1, δ_2) 分别取其他稳定区组合(对应图2中的第三像限区

域)时,谐振腔仍然是稳定的。

5 结论

本文以三镜折叠腔为对象,完整地得到了直接以失调量 δ_1, δ_2 作为参数表示的谐振腔稳定性判据,并相应地计算了光腰半径和位置等基模参数,完善了稳定区的范围,同时能更加直观地了解失调对于谐振腔稳定性的影响。推导的方法对于多镜折叠腔的推广也有借鉴作用。所得结果表明该稳定区为两个,并不是通常认为的一个。该方法表示的稳定性有了明确的物理意义,这对于设计激光器有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 郑权,赵岭,檀慧明,等. LD 泵浦高效率折叠腔 YAG/LBO 蓝光激光器[J]. 激光与红外, 2001, 31(3): 145 - 147.
- [2] P K Datta, S Mukhopadhyay, A Agnesi. Stability regime study of a nonlinear mirror mode-locked laser[J]. Optics Communications, 2004, 230(4): 411 - 418.
- [3] 谈宜东,张书练,刘静华. 折叠腔 He - Ne 激光器中角锥棱镜直角误差分析[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(3): 345 - 350.
- [4] 吕百达. 激光光学[M]. 成都: 四川大学出版社, 1986.
- [5] 盛家铁, 有关光学谐振腔稳定条件的讨论[J]. 湘潭大学学报, 1985, 2(2): 94 - 102.
- [6] 吕百达. 固体激光器件[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2002.
- [7] G Hetzinger, H Weber. Equivalent optical resonator[J]. Appl. Opt., 1984, 22(10): 1450 - 1456.

(上接第431页)

峰值功率为 2.7kW。实验中虽然绿光的输出功率较低,但是所得到的脉冲波形稳定、脉宽窄、峰值功率高、模式好。如果能对倍频晶体进行温控,有望进一步提高绿光的输出性能。

参考文献:

- [1] Yuang-fu Chen. High-power diode-pumped Q-switched intracavity-frequency-doubled Nd:YVO₄ laser with a sandwich-type resonator[J]. Opt. Lett., 1999, 24(15): 1032 - 1034.
- [2] Eric C Honea, Christopher A Ebbers, Raymond J Beach, et al. Analysis of an intracavity-doubled diode-pumped Q-switched Nd:YAG laser producing more than 100W of power at 0.532μm[J]. Opt. Lett., 1998, 23(15): 1203 - 1205.
- [3] He Jingliang, Hou Wei, Zhang Hengli, et al. 8.8W green

laser by intracavity frequency doubling of a LD pumped Nd:YVO₄ laser[J]. Chinese J. Laser, 2000, 27(6): 481 - 484. (in Chinese)

- [4] Hou Xueyuan, Li Yufei, Sun Yuming, et al. LD pumped Nd:GdVO₄/KTP intracavity-frequency-doubling Lasers[J]. Acta photonica sinica, 2004, 33(1): 11 - 13. (in Chinese)
- [5] Feng Yan, Bi Yong, Zhang hongbo, et al. 20W diode dumped external frequency-doubled Nd:YAG green laser[J]. Acta Optica Sinica, 2003, 23(4): 469 - 471. (in Chinese)
- [6] Li Jian, Lu Xingqiang, Hou Wei, et al. High-power diode-pumped high repetitive acousto-optic Q-switched intracavity-frequency-doubled Nd:YVO₄/KTP green laser[J]. Chinese J. Lasers, 2000, 27(12): 1063 - 1066. (in Chinese)