

LD 端面泵浦 Nd:YVO₄/YVO₄ 键合晶体声光调 Q 激光脉宽研究

崔铁成^{1,2,3}, 孟玉清^{1,2}, 檀惠明^{1,2}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 中国白城 63861 部队, 吉林 白城 137000)

摘要:利用半导体激光器(LD)端面泵浦 YVO₄/Nd:YVO₄ 键合晶体, 实现声光调 Q 1064nm 的窄脉宽激光输出。从理论和实验上分析了泵浦功率和重复频率对输出调 Q 脉宽的影响。在泵浦功率为 20W 情况下, 重复频率为 2kHz 时, 获得最短脉冲宽度为 16.4ns; 重复频率为 40kHz 时, 获得了最大平均输出功率为 6.9W, 光-光转换效率为 34.5%。

关键词:LD 端面泵浦; 键合晶体; 声光调 Q; 脉冲宽度

中图分类号:TN248.1

文献标识码:A

Study on the Pulse Width of LD End Pumped Acousto-optics Q-switched Laser

CUI Tie-cheng^{1,2,3}, MENG Yu-qing^{1,2}, TAN Hui-ming^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China;
3. 63861 armed forces of Chinese Baicheng, Baicheng 137000, China)

Abstract: A acousto-optics Q-switched 1064nm short pulse width laser was reported, used LD end-pumped YVO₄/Nd:YVO₄ bonding crystal. The effects of pumped power and pulse repetition rate on pulse width are analyzed from theory and experiment. At the pump power of 20W and the repetition rate of 2kHz, we get the shortest pulse width of 16.4 ns; at the repetition rate of 40kHz, the highest average output power 6.9W have been obtained, and the optics-optics conversion efficiency is 34.5%.

Key words: LD end-pumped; bonding crystal; acousto-optics Q-switched; pulse width

1 引言

激光二极管(LD)泵浦的声光调 Q 固体激光器是获得高重频、窄脉冲的理想光源^[1], 可以应用于激光遥感、测距、雷达、光电对抗、光通信、激光加工等领域。正是由于其具有巨大的应用价值, 对其展开了大量的研究, 早期的研究是围绕 Nd:YAG 晶体展开的^[2]。但是相比于 Nd:YAG 晶体, Nd:YVO₄ 具有更大的优越性, 它具有二个突出特点^[3]: 受激发射截面大, 比 Nd:YAG 大 5 倍; 对 808.7nm 波长存在很强的宽吸收带。同时, 由于 Nd:YVO₄ 是自然双折射晶体, 激光输出沿着特殊的方向呈线性偏振, 从而避免了热致双折射, 减少了由热致双折射产生的热

透镜效应。

本文采用 Limo 公司生产的大功率光纤束模块端面泵浦 YVO₄/Nd:YVO₄ 键合激光晶体, 采用声光调 Q 技术, 实现了高重频、窄脉宽的 1064nm 激光输出。由于键合晶体中的不掺杂晶体起到热沉的作用, 利于晶体更好地散热, 有效地改善了晶体中心和侧面的温度梯度, 减小由端面形变引起的热透镜效应, 有利于激光器稳定运转^[4]; 通过腔内插入声光调 Q 开关, 优化声光调 Q 的技术参数, 实现了

作者简介: 崔铁成(1983 -), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为全固态激光及光学频率变换技术。E-mail: iamctc@163.com
收稿日期: 2008-09-18

(2~40) kHz的高重复频率下的稳定调Q激光输出。最终在泵浦功率为20W情况下,重复频率为2kHz时,获得最短脉冲宽度为16.4ns;重复频率为40kHz时,获得了最大平均输出功率为6.9W的脉冲,光-光转换效率为34.5%。

2 实验装置

实验装置如图1所示。采用激光二极管(LD)端面泵浦,泵浦源为Limo公司生产的半导体激光器光纤束模块(型号为HLU20F400),其最大输出功率20W,光纤芯径400 μ m,数值孔径为0.22,输出泵浦光中心波长可在807~810nm调节,通过调节TEC制冷系统的工作温度,使其工作波长接近808.7nm,与Nd:YVO₄晶体的吸收峰相匹配。光纤输出光束经1:2耦合系统注入晶体,耦合效率为95%。YVO₄/Nd:YVO₄晶体为a轴切割,尺寸为3mm×3mm×8mm(其中3mm没有掺杂Nd离子,5mm掺杂Nd离子),Nd离子掺杂浓度为0.5at.%。晶体输入端镀808nm增透膜,1064nm高反膜作为谐振腔的前腔镜M₁,输出端镀1064nm增透膜,用铝箔包裹置于紫铜块内用TEC制冷,温度设置在25°。输出镜用50%透过率的平面1064nm输出镜构造平-平热稳腔。所使用的QSG41/Q型声光Q开关(中国电子科技集团公司第二十六研究所)的通光长度为30mm,声光调Q器件紧靠YVO₄/Nd:YVO₄晶体,以减小超声波在声光介质中的渡越时间。输出的脉冲平均功率和激光脉冲信号分别用自己研制的功率计和9361C型示波器(LeCroy, USA)测量。

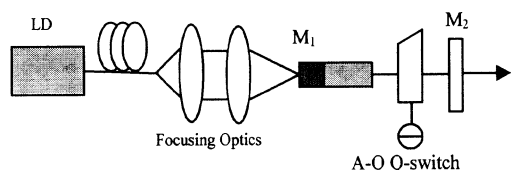


图1 LD端泵 Nd:YVO₄ 声光调Q激光器示意图

3 理论分析

根据调Q理论,在调Q重复频率为 f 时,激光器的平均输出功率 $\bar{P}$,单脉冲能量 E ,脉冲宽度 Δt 可分别表示为^[4]:

$$\bar{P} = \frac{Tf}{T+L} (n_i - n_f) h\nu V \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{\gamma} V \nu h (n_i - n_f) \frac{T}{T+L} = \frac{\bar{P}}{f} \quad (2)$$

$$\Delta t = \frac{2L'}{c(T+L)} \cdot \frac{n_i - n_f}{n_i - n_f [1 + \ln(n_i/n_t)]} \quad (3)$$

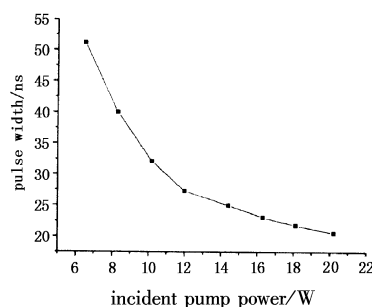
式中, T 为输出耦合镜的透过率; L 为谐振腔的除透射损耗之外的其他损耗; n_i , n_t 和 n_f 分别为初始、阈

值和最终反转粒子数; ν 为光子的频率; γ 为粒子数反转因子(对于四能级系统, $\gamma=1$); L' 为谐振腔的长度; c 为真空中的光速; V 为激光束在激光晶体中的体积。要获得窄脉宽、高峰值功率的激光输出, L' , T , f , n_i 和 n_f 是我们应该主要考虑的参量。由此可以从三方面来实现:一是增大泵浦功率,增加了泵浦速率,提高了振荡激光与泵浦光的模体积比,使 n_i 在未饱和的情况下尽量大;二是改变重复频率 f 。重复频率的改变将影响激光的输出。三是为减小 n_t ,可合理选择腔参量 L' 和 T 。在一定的泵浦功率下, L' 越短,则 Δt 越小, $\bar{P}$ 越大, E 越大; T 越大,则输出能量和功率也越大,但是随着 T 的增大,又会使阈值抽运功率 P 增大,使输出功率减小,因此应综合考虑确定 T 的值。

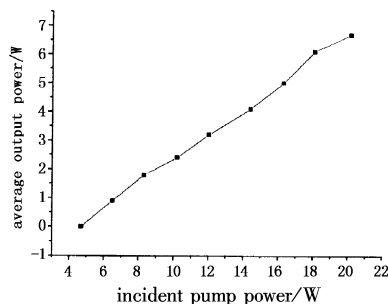
实验中为保证Q开关处于“关闭”状态以得到尽量大的初始反转粒子数密度,同时结合激光晶体的热透镜效应,经过反复实验,最后确定腔长 $L'=140$ mm。同时分别用透过率为40%,50%,60%,70%的输出镜做实验,通过数据分析,50%透过率的输出镜能更好的实现窄脉宽的激光输出。

4 实验结果及分析

实验中在满足腔长为140mm及输出镜透过率为50%的情况下,结合理论分析,分别研究了泵浦功率和重复频率对激光输出的脉宽及平均功率的影响。



(a) 脉冲宽度与泵浦功率的关系



(b) 平均功率与泵浦功率的关系

图2 20kHz时测得的脉冲宽度、平均功率与泵浦功率的关系图

首先研究平均功率、脉宽和泵浦功率的关系。图2为重复频率固定20kHz时测得的平均功率、脉

冲宽度与泵浦功率的关系图。从图中可以看出,输出脉冲平均功率随泵浦功率增大而增大,脉冲宽度随泵浦功率增大而减小,这与理论符合得很好。物理解释为:由于泵浦功率的增大使得 Nd:YVO₄ 晶体上能级所积累的初始粒子数密度 n_i 增加,导致能级受激跃迁速率增大,抽运光脉冲的建立过程缩短,形成了脉宽较窄峰值功率较高的抽运光脉冲。

其次研究平均功率、脉宽与重复频率的关系。图 3 为泵浦功率 8W 时测得的平均功率、脉冲宽度与重复频率的关系图。平均功率随重复频率的增加而增加,最后趋于饱和。这种现象的物理解释为:低重复频率时,脉冲间隔周期相对较长,受储能饱和的影响,基频光单脉冲能量变化不大,所以平均功率随重复频率近似成正比增加。高重复频率时,基频光单

脉冲能量随重复频率的增加而快速下降,综合作用的结果就是平均功率随重复频率的增加而达到饱和。在泵浦功率为 20W,重复频率为 40kHz 时,得到最大平均输出功率 6.9W。脉冲宽度随重复频率的提高而增加,脉宽最窄达到了 25ns,在重复频率为 40kHz 时,脉宽达到了 100ns。物理过程解释为:随脉冲重复频率的增加,每周期内储能减少,单程增益降低,脉冲从产生到形成需要更多的时间,从而输出光脉冲变宽。

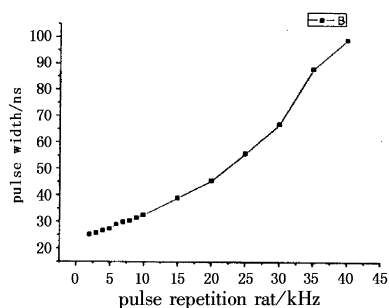
通过以上分析,在 20W 泵浦功率、2kHz 工作条件下,得到最短脉冲宽度为 16.4ns。

5 结 论

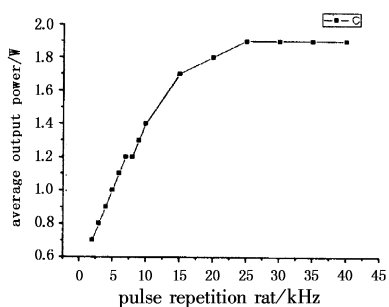
首次报道了采用键合 YVO₄/Nd:YVO₄ 晶体实现脉冲 1064nm 激光输出,在泵浦功率为 20W 情况下,重复频率为 2kHz 时,获得最短脉冲宽度为 16.4ns;重复频率为 40kHz 时,获得了最大平均输出功率为 6.9W 的脉冲,光-光转换效率为 34.5%。通过理论和实验分析得出以下结论:脉冲宽度随泵浦功率的增加而变窄,随重复频率的增加而变宽。

参考文献:

- [1] Plaessmsnn H, Yamada K G, Rich C E, et al. Subnano second pulse generation from diode-pumped acoustic-optical Q-switched solid-state lasers [J]. Applied Optics., 1993, 32(33): 6616.
- [2] 金锋,翟刚,李晶,等. 二极管泵浦声光调 Q 窄脉冲 Nd:YAG 激光器 [J]. 光电子·激光, 2004, 15(3): 303-306.
- [3] W Koechner. Solid-state laser engineering [M]. 5rd edition. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese)
- [4] 李明真,朱占收. 激光二极管端面泵浦 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体激光器热效应研究 [J]. 东莞理工学院学报, 2007, 14(5): 33-36.



(a) 脉宽与重复频率的关系



(b) 平均功率与重复频率的关系

图3 泵浦功率 8A 时测得的平均功率、脉冲宽度与重复频率的关系图

收录证书

《激光与红外》编辑部:

贵刊自 2009 年 2 月已被我社《中国学术期刊文摘(中文版)》收录为源期刊(期限两年)。

特发此证。

中国科协科技导报社
2009 年 2 月

北京市海淀区学院南路 86 号 (100081) E-mail: wzzw@cast.org.cn