

文章编号: 1001-5078 (2007) 03-0227-03

LD 泵浦双调 Q Nd GdVO₄ 激光器实验研究

高利岩, 王春兴, 田文苗, 刘士华, 王广刚, 刘杰
(山东师范大学物理与电子科学学院, 山东 济南 250014)

摘要:报道了采用半导体激光器 (LD) 单端泵浦 Nd GdVO₄ 晶体, 在谐振腔内同时利用声光器件、Cr⁴⁺ YAG 晶体, 实现 1.06 μm 激光的双调 Q 运转。当泵浦功率为 7.7 W, 重复频率为 10 kHz 时, 得到最短脉冲宽度 20 ns, 单脉冲能量 45.8 μJ 及相应峰值功率 2.29 kW 的激光脉冲。

关键词: Nd GdVO₄ 晶体; 声光调 Q; 被动调 Q; 双调 Q

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A

Study of Diode Pumped Double Q-switched Nd GdVO₄ Laser

GAO Li-yan, WANG Chun-xing, TIAN Wen-miao, LIU Shi-hua, WANG Guang-gang, LIU Jie
(College of Physics and Electronics, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Using both acoustic-optic Q-switcher and Cr⁴⁺ YAG crystal, a LD-end-pumped double Q-switched Nd GdVO₄ laser at 1.06 μm is reported. At the pump power of 7.7 W and the repetition rate of 10 kHz, the shortest pulse width of 20 ns, the single pulse energy of 45.8 μJ and the highest peak power of 2.29 kW are achieved, respectively.

Key words: Nd GdVO₄ crystal; acoustic-optic Q-switched; passively Q-switched; double Q-switched

1 引言

近几年, LD 泵浦的全固态调 Q 激光器发展迅速。全固态激光器的调 Q 器件具有效率高、光束质量好、频率稳定、结构简单紧凑等优点, 引起人们的广泛关注, 在军事、医学、信息、科研等领域的应用中都显现了较大的优越性。声光器件常被用于主动调 Q^[1], 而 Cr⁴⁺ YAG、GaAs 等饱和吸收体常被用于被动调 Q^[2-3]。但声光调 Q 和被动调 Q 激光器得到的脉冲波形在对称性上都略显不足。而在同一谐振腔内同时利用声光器件和饱和吸收体实现双调 Q 激光输出, 可以压缩脉宽, 改善波形的对称性^[1,4-5]。这种对称脉冲在许多应用中很实用, 与单纯的声光和被动调 Q 相比, 激光放大后无需重新改善波形, 且脉宽更窄。

近几年双调 Q 激光器已有少量报道^[4-8]。本文首次和平凹腔内利用 LD 单端泵浦 Nd GdVO₄ 晶体, 采用声光、Cr⁴⁺ YAG 实现了 1.06 μm 双调 Q 激光运转, 获得脉冲宽度为 20 ns, 最大单脉冲能量为 45.8 μJ 及相应峰值功率为 2.29 kW 的激光脉冲输

出, 并比较了不同声光调制频率下激光的输出特性。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 采用结构紧凑的平凹腔, 腔长约为 110 mm。凹镜 M₁ 的曲率半径为 200 mm, 靠近泵浦源的一面镀 808 nm 增透膜, 靠近激光晶体的一面镀 1064 nm 高反膜和 808 nm 高透膜。平面镜 M₂ 为对 1064 nm 部分透过率为 10% 的耦合输出镜。泵浦源采用带光纤耦合输出的半导体激光器 (OPC-D015-809-FCPS 型), 发射谱线的中心波长为 808 nm, 输出光束数值孔径为 0.12, 最大可用输出功率为 8 W。光纤输出光束经聚焦系统后的泵浦光斑半径约为 289 μm。激光晶体 Nd GdVO₄ 的掺杂浓度为 1.3 at%, 尺寸为 3 mm × 3 mm × 4 mm, 两通光面镀 1064 nm 增透膜。晶体侧面用铝箔包裹置于紫铜块内, 并用循环水冷却。功率测量用中国科学院物

作者简介: 高利岩 (1980 -), 女, 现为山东师范大学 2004 级光学专业硕士研究生, 主要从事全固态激光器件研究。E-mail: jielu@sdnu.edu.cn 或 liujie-jn@sohu.com

收稿日期: 2006-07-24

理所生产的 LP-3C 型功率计。用快速光电二极管 (New Focus 1632, 上升时间 2ns) 和 Tek 公司生产的带宽为 1GHz 的数字示波器 (TDS5104) 测量激光脉冲信号。

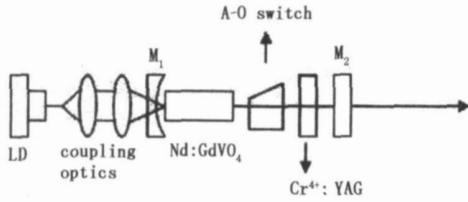


图 1 LD 泵浦 Nd:GdVO₄ 双调 Q 激光器实验装置图

Fig 1 schematic diagram of the LD pumped Nd:GdVO₄ doubly Q-switched laser

声光器件作用长度为 40mm, 两端镀 1064nm 增透膜, 衍射损耗为 85%, 调制重复频率在 $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^4$ Hz 可调, 中心频率为 40MHz, 电脉冲下降时间为 60ns, 声光元件靠近激光晶体放置, 并用循环水冷却至室温。Cr⁴⁺ YAG 靠近输出镜 M₂ 放置, 因为光腰位于 M₂ 处, 功率密度比较高。

3 实验结果及分析

实验在输出镜透过率 $T = 10\%$ 的条件下, 对 LD 泵浦的 $1.06\mu\text{m}$ Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 及不同的声光调制频率下声光调 Q、声光被动双调 Q Nd:GdVO₄ 激光器的平均输出功率和脉宽进行了测量比较。在泵浦功率为 7.7W 时, 得到三种调 Q 相应特性数据。当谐振腔内只放声光器件, 重复频率为 10kHz 时, 获得平均输出功率 1.03W, 脉冲宽度 24ns 的脉冲输出。当只放初始透过率 $T_0 = 85\%$ 的 Cr⁴⁺ YAG 饱和吸收体时, 获得平均输出功率 814mW, 重复频率 31kHz, 脉冲宽度 32ns 的脉冲输出。当同时放入声光器件和 Cr⁴⁺ YAG 饱和吸收体, 重复频率为 10kHz 时, 获得平均输出功率 458mW, 脉冲宽度 20ns 的脉冲输出。

图 2 为被动调 Q 及不同的声光调制频率下声光调 Q、双调 Q 的平均输出功率随泵浦功率的变化关系。从图 2 可以看出, 三种调 Q 的平均输出功率都随泵浦功率的增加而增加, 声光调 Q 和双调 Q 在同样泵浦功率下, 重复频率较高, 平均输出功率和斜率效率也较高, 但双调 Q 的平均输出功率较低。这是由于双调 Q 与单纯的调 Q 相比, 增加了插入损耗。

图 3 为被动调 Q 及不同的声光调制频率下声光调 Q、双调 Q 的脉宽随泵浦功率的变化关系。从图 3 可以看出, 脉宽随泵浦功率的增加而减小。对应相同泵浦功率, 声光调 Q 和双调 Q 的脉宽都随重

复频率的增加而增加, 并且双调 Q 的脉冲宽度比单纯调 Q 的脉冲宽度都窄。

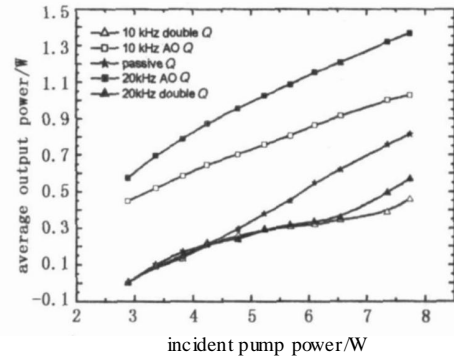


图 2 平均输出功率与泵浦功率的关系

Fig 2 average output power versus incident pump power

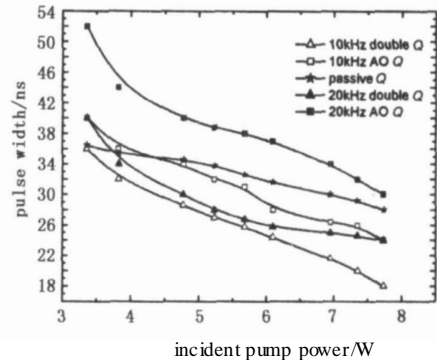


图 3 不同重复频率下脉冲宽度与泵浦功率的关系

Fig 3 pulse width versus pumping power for different pulse repetition rates

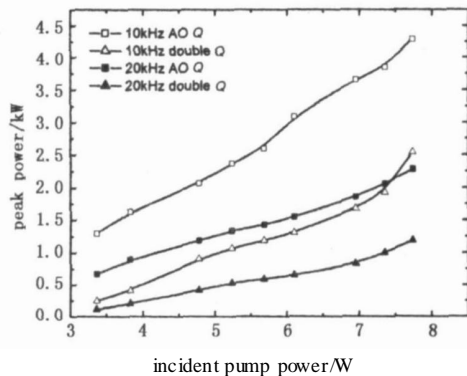


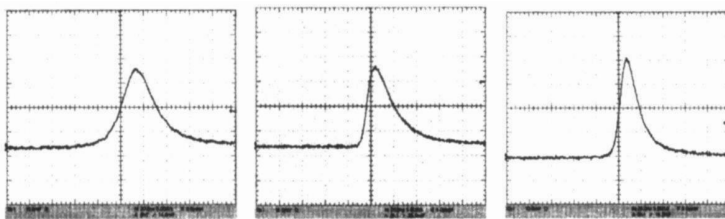
图 4 不同重复频率下, 峰值功率与泵浦功率的关系

Fig 4 peak power as a function of pump power at different repetition rates

利用公式 $E = P_{av} / f$ 和 $P_{peak} = E / \tau_p$, 其中 τ_p 为脉冲宽度, 可计算出单脉冲能量 E 和峰值功率 P_{peak} 。图 4 给出了不同声光调制频率下, 声光调 Q 和双调 Q 的峰值功率与泵浦功率的关系。从图 4 可以看出, 同样重复频率下, 峰值功率随泵浦功率的增大而增大。在一定的泵浦功率下, 重复频率越低, 峰值功率越高。其峰值功率在重复频率为 10kHz 左右时为最大, 随着重复频率的增加, 峰值功率减小。在重

复频率为 10kHz 时,获得最大单脉冲能量 45.8μJ 及相应峰值功率 2.29kW。

图 5 为泵浦功率 7.7W 时,被动调 Q 及重复频率为 10kHz 时,声光调 Q 和双调 Q 相应的脉冲波形。从图 5 可以看出,双调 Q 的脉冲宽度与单纯的声光和被动调 Q 相比,脉宽明显变窄,波形对称性得到改善。这是因为声光调 Q 具有较快的上升沿,较慢的下降沿;被动调 Q 则相反,具有较慢的上升沿,较快的下降沿^[5,7-8]。基于声光调 Q 和被动调 Q 各自的特点,可等效地缩短单声光调 Q 的开关时间,加速开关打开时系统损耗的变化率^[4]。同时由于 Cr⁴⁺ YAG 的非线性吸收特性,导致了脉冲具有较快的下降沿,使双调 Q 输出脉冲的对称性得到改善,从而获得窄脉宽调 Q 脉冲输出。



(a)被动调 Q (b)声光调 Q (c)双调 Q

图 5 泵浦功率 7.7W 时,三种调 Q 的脉冲波形

Fig 5 pulse profile for the three Q-switched at the pump power of 7.7W

4 结论

本文报道了结构紧凑的 LD 泵浦 Nd GdVO₄ 双调 Q 激光器,采用声光器件、Cr⁴⁺ YAG 实现 1.06μm 双调 Q 激光运转。在泵浦功率 7.7W,重复频率 10kHz 时,获得平均输出功率 458mW,最短脉冲宽度 20ns,单脉冲能量 45.8μJ 及相应峰值功

率 2.29kW 的激光脉冲。可以看出,双调 Q 与单纯的声光调 Q 和被动调 Q 相比,脉宽窄,波形对称性得到了改善。

参考文献:

- [1] 孙渝明,侯学元,李宇飞. LD 泵浦的声光调 Q 高重复率 Nd GdVO₄ 激光器 [J]. 光子学报, 2004, 33 (6): 645 - 647.
- [2] 杜晨林,阮双琛,于永芹,等. LD 泵浦 Nd GdVO₄ /GaAs 被动调 Q 激光器研究 [J]. 光子学报, 2004, 33 (7): 774.
- [3] 王鹏飞,金煜坚,潘虎. 二极管泵浦被动调 Q 激光器 [J]. 激光与红外, 2005, 35 (8): 560 - 562.
- [4] 张小洁,杨杰,等. 声光 - 染料双调 Q 激光器的理论与实验研究 [J]. 中国激光, 1992, 19 (4): 241 - 246.
- [5] Wei Wu, Guiqiu Li, Shengzhi Zhao, et al Pulse width reduction in diode-pumped doubly Q-switched Nd GdVO₄ /KTP green laser [J]. Chin Opt Lett, 2005, 3 (7): 402 - 404.
- [6] Kejian Yang, Shengzhi Zhao, Guiqiu Li, et al Compression of pulse duration in a laser-diode end-pumped, double Q-switched laser [J]. Appl Opt 2005, 44 (2), 271 - 277.
- [7] Zhigang Li, Z Xiong, N Moore, et al Pulse width reduction in AO Q-switched diode-pumped Nd YVO₄ laser with GaAs coupler [J]. Opt Commun 2004, 237: 411 - 416.
- [8] Guiqiu Li, Shengzhi Zhao, Kejian Yang, et al Pulse shape symmetry and pulse width reduction in diode-pumped doubly Q-switched Nd YVO₄ /KTP green laser with AO and GaAs [J]. Opt Exp. 2005, 13 (4), 1178 - 1187.

(上接第 222 页)

以上原理应用于国产准分子激光眼科设备,目前已经应用于临床,经过某市医院眼科中心的临床,收集该院眼科中心接受 LASIK 手术治疗的单纯近视 32 眼的病历,以下为手术前后裸眼视力的相关数据:术前裸眼视力平均为 0.13 ± 0.05, 93.7% 的眼睛裸眼视力 0.2;术后第一天的裸眼视力平均为 0.99 ± 0.22, 84.3% 的眼睛裸眼视力 0.8;术后一个月的裸眼视力平均为 1.03 ± 0.23, 71.9% 的眼睛裸眼视力 1.0。说明本模型治疗近视效果良好,可以采用本文所述的模型进行 LASIK 手术治疗单纯近视。

参考文献:

- [1] Markolf H Nienz 激光与生物组织的相互作用 [M]. 张

镇西译. 西安:西安交通大学出版社, 1999: 120 - 143.

- [2] Ambrosion R Wilson LASIK vs Lasek vs PRK: Advantages and indications [Z]. Ophthalmol 2003 Mar, 18 (1): 2 - 10.
- [3] 江海河,余吟山,陆志贤,等. 近视眼激光角膜切削术原理及控制方法 [J]. 激光生物学报, 1998, 7 (4): 249 - 253.
- [4] 陆文秀,准分子激光屈光性角膜手术学 [M]. 北京:科学技术文献出版社. 2000: 44 - 64.
- [5] 张运海,沈建新,廖文和. 准分子激光矫正复性近视散光的屈光学机理及应用 [J]. 光学精密工程, 2003, 11 (3): 291 - 296.
- [6] 邓国庆,余吟山. 飞点扫描式准分子激光角膜矫正系统 [J]. 量子电子学报, 2001, 18 增刊: 61 - 64.