

文章编号: 0253-2239(2010)10-2963-04

激光二极管抽运主动调 Q 陶瓷 Nd:YAG 1319 nm 激光器特性研究

李 平 陈晓寒 王青圃 张行愚

(山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

摘要 报道了激光二极管端面抽运声光调 Q 陶瓷 Nd:YAG 在 1319 nm 波长处的调 Q 运转。在抽运功率 23.7 W 时, 平均输出功率为 4.8 W, 重复频率为 30 kHz, 脉冲宽度为 110 ns, 对应的光-光转换效率为 20.3%。在抽运功率为 19.4 W 时, 得到了脉宽 78.5 ns、能量为 316 μ J、重复频率为 10 kHz 的稳定调 Q 脉冲。

关键词 激光器; 激光二极管抽运激光器; 陶瓷激光器; Nd:YAG

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103010.2963

Study of a Diode-Pumped Actively Q-Switched Nd:YAG Ceramic 1319 nm Laser

Li Ping Chen Xiaohan Wang Qingpu Zhang Xingyu

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract An efficient diode-pumped actively Q-switched Nd:YAG ceramic laser operating at 1319 nm was demonstrated. At an incident pump power of 23.7 W, average output power of 4.8 W at pulse repetition frequency of 30 kHz and pulse duration of 110 ns was obtained. The corresponding optical-to-optical conversion efficiency is 20.3%. A maximum single pulse energy of 316 μ J with a pulse duration of 78.5 ns is obtained at incident pump power of 19.4 W at pulse repetition frequency of 10 kHz.

Key words Lasers; diode-pumped lasers; ceramic lasers; Nd:YAG

1 引 言

发射波长在 1.3 μ m 区域的激光二极管抽运的固体脉冲激光器在光纤光学、医疗和通信等领域具有重要的应用价值^[1,2], 通过倍频可以实现红光输出, 通过拉曼受激散射(SRS)可以获得 1.5 μ m 对人眼安全的激光输出, 因而近期受到人们的广泛重视。众所周知, 掺杂钕离子(Nd³⁺)的几种激光晶体, 如 Nd:YAG, Nd:YAP, Nd:YLF 和 Nd:YVO₄ 都可以通过⁴F_{3/2}→⁴I_{13/2}能级的跃迁实现 1.3 μ m 波长激光输出, 其中 Nd:YAG 一直以来都因其具有良好的综合性能而被广泛应用。近几年透明 Nd:YAG 陶瓷材料生长和加工技术日趋成熟, 并因其生长简单、低

成本、高掺杂以及极好的导热性能等优点, 很有可能成为传统 Nd:YAG 晶体材料的替代品^[3~5]。目前已经有一些连续或调 Q 脉冲陶瓷激光器输出波长为 1.06 μ m 及 946 nm 的报道^[6~10], 但输出波长为 1.3 μ m 的激光器却很少有报道, 国外有一篇有关激光二极管(LD)侧面抽运陶瓷 Nd:YAG 实现 1.3 μ m 连续运转的报道^[11], 虽然侧面抽运可以获得更高的平均功率, 但端面抽运输出的激光可以获得更好的光束质量。

本文实现 LD 端面抽运声光调 Q 陶瓷 Nd:YAG 1319 nm 激光器运转, 在抽运功率 23.7 W 时, 平均输出功率为 4.8 W, 重复频率为 30 kHz, 脉冲宽度

收稿日期: 2010-04-12; 收到修改稿日期: 2010-06-24

作者简介: 李 平(1966—), 男, 博士, 教授, 主要从事激光物质与激光技术和光纤等方面的研究。E-mail: pingli@sdu.edu.cn

为 110 ns, 对应的光-光转换效率为 20.3%。在抽运功率为 19.4 W 时, 得到了脉宽 78.5 ns, 能量为 316 μ J, 重复频率为 10 kHz 的稳定调 Q 脉冲。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。抽运源为光纤耦合输出功率 25 W 波长 808 nm 激光二极管 (Jenoptik, JenLas diode L25), 耦合光纤纤芯直径为 600 μ m, 数值孔径为 0.22。谐振腔为平凹腔, 后镜 M_1 为凹面镜, 曲率半径为 1 m, 镀 1319 nm 高反膜和 808 nm 高透膜。输出镜 M_2 为一平面镜, 对 1319 nm 光透射率为 2.8%, M_1 和 M_2 都对 1.06 μ m 光镀增透膜, 透射率为 90%。工作物质陶瓷 Nd:YAG 尺寸

为 Φ 4 mm \times 4 mm \times 5 mm, 两面镀 1319 nm 和 1064 nm 增透膜, 输入端面还镀 808 nm 增透膜, 其 Nd^{3+} 掺杂原子分数为 0.6%, 用钢纸包裹后装在具有水冷的铜支架上。声光调 Q 开关 (Gooch and Housego, QS041-10H/J-AP5), 长 35 mm, 驱动中心频率为 41 MHz, 放在工作物质与输出镜之间。整个腔长为 7.8 cm。激光功率计 (Moletron EPM2000) 和光谱分析仪 (Yokogawa AQ 6315A, 350~1750 nm) 分别用来测量输出功率和光谱。泰克示波器 TDS3052B (500 MHz 带宽, 5 Gs/s 采样率) 和 InGaAs 光电二极管探测器 (光谱响应范围 1~1.65 μ m, 上升时间小于 1 ns) 用来记录调 Q 脉冲波形及宽度。

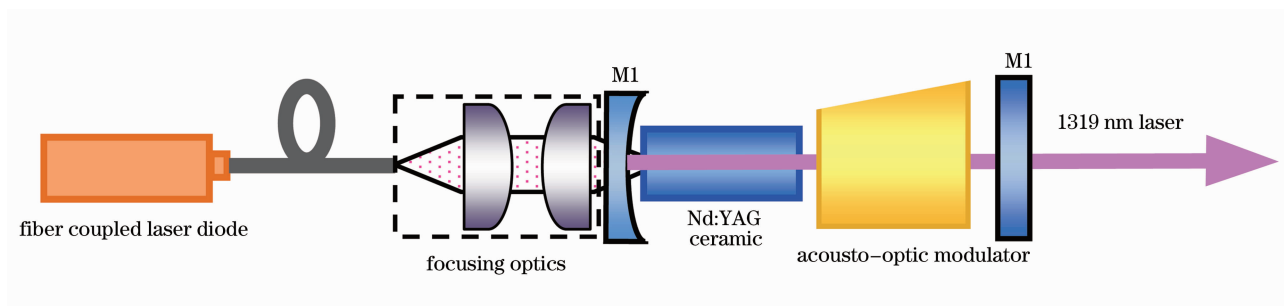


图 1 实验装置图

Fig. 1 Schematic of the experimental setup

3 实验结果

研究了没有放置声光调 Q 开关时, 陶瓷激光器连续运转特性。图 2 给出了抽运功率为 23.7 W 时激光输出光谱, 可以看出, 激光输出波长为 1319 nm, 1064 nm 被很好地抑制掉了。图 3 给出了激光平均输出功率随抽运功率的变化关系, 在抽运功率为 23.7 W 时, 得到最大输出功率为 5.9 W, 激光器阈值为 1.2 W, 光-光转换效率为 24.9%。以前报道的端抽运 Nd:YAG 晶体 1319 nm 激光器^[12-14], 其输出功率

在 0.22~3.11 W, 光-光转换效率为 10%~19.3%, 可以看出陶瓷 Nd:YAG 激光器的输出功率和转换效率较之晶体 Nd:YAG 都有了较大提升。

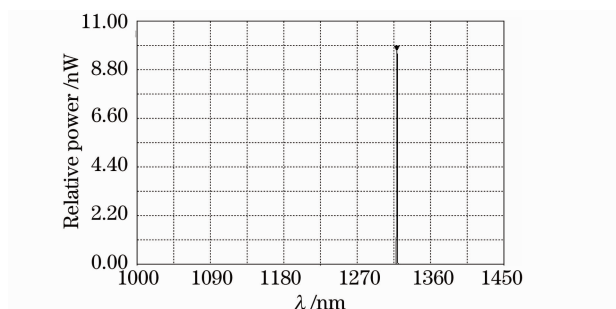


图 2 Nd:YAG 陶瓷 1319 nm 激光光谱

Fig. 2 Optical spectrum of the 1319 nm Nd:YAG ceramic laser

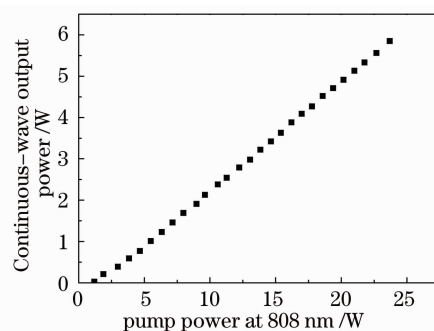


图 3 1319 nm 激光连续输出功率与抽运功率关系

Fig. 3 Continuous-wave output power at 1319 nm versus pump power

将声光调 Q 开关置入谐振腔, 即可实现调 Q 运转。图 4 给出了重复频率分别为 10 kHz 和 30 kHz 条件下, 激光平均输出功率与抽运功率的关系。在抽运功率 23.7 W, 重复频率为 30 kHz 时, 得到最大平均输出功率为 4.8 W, 脉冲宽度为 110 ns, 可以看出平均输出功率随抽运功率的增加近似线性增长,

且在抽运区域没有明显饱和现象,意味着进一步提高抽运源的功率,可望能获得更高平均功率输出,这得益于陶瓷 Nd:YAG 良好的导热性能。根据平均输出功率和重复频率可以计算单脉冲能量,图 5 给出不同重复频率条件下,单脉冲能量随抽运功率变化关系。抽运功率为 19.4 W,重复频率为 10 kHz 时,得到最大单脉冲能量为 316 μJ ,由图 5 可见,10 kHz 时激光单脉冲能量远远大于 30 kHz 时,且 10 kHz 时激光脉宽比 30 kHz 时窄,因此 10 kHz 重复频率下,激光峰值功率远大于 30 kHz 时的峰值功率,因此低重复频率下激光晶体容易损坏,为了保护激光晶体,在低重复频率下注入功率比较小,在高重复频率下,注入功率比较高。另外,从 10~30 kHz 连续调节时,均未出现多波长输出的情况,这是由于输出镜特别设计对 1319 nm 透射率小于对 1338 nm 的透射率。图 6 为抽运功率 19.4 W 时得到的典型调 Q 脉冲波形,此时脉宽为 78.5 ns,能量为 316 μJ ,重复频率为 10 kHz。

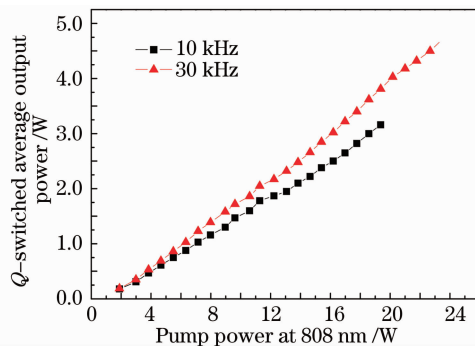


图 4 重复频率分别为 10 kHz 和 30 kHz 时,调 Q 平均输出功率与抽运功率的关系

Fig. 4 Q-switched average output power versus pump power for the pulse repetition frequencies of 10 and 30 kHz

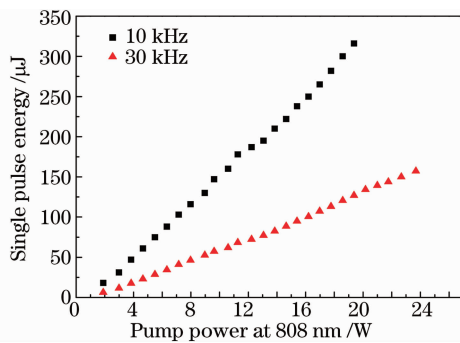


图 5 重复频率分别为 10kHz 和 30kHz 时,单脉冲能量与抽运功率的关系

Fig. 5 Single pulse energy versus pump power for the pulse repetition frequencies of 10 and 30 kHz

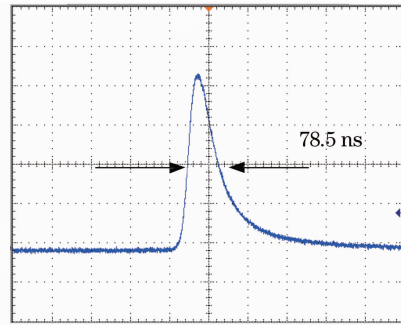


图 6 Nd:YAG 陶瓷典型调 Q 脉冲波形

Fig. 6 Typical oscilloscope trace of the Nd:YAG ceramic 1319 nm laser

4 结 论

实现了 LD 端面抽运陶瓷 Nd:YAG 激光器 1319 nm 激光输出,利用声光调 Q 开关,实现了主动调 Q 运转。在抽运功率 23.7 W,重复频率为 30 kHz 时,最大平均输出功率为 4.8 W,对应的光-光转换效率为 20.3%。在抽运功率为 19.4 W 时,得到了脉宽 78.5 ns,能量为 316 μJ ,重复频率为 10 kHz 的稳定调 Q 脉冲。

参 考 文 献

- 1 T. J. Whitley, A review of recent system demonstrations incorporating 1.3- μm praseodymium-doped fluoride fiber amplifiers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(5): 1744~1760
- 2 Wan Yunfang, Han Kezhen, Yun Wang *et al.*. High power CW and Q-switched operation of a diode-side-pumped Nd:YAG 1319-nm laser[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(2): 124~126
- 3 J. Wisdom, M. Digonnet, R. L. Byer, Ceramic lasers; ready for action[J]. *Photonics Spectra*, 2004, **38**(2): 50~52, 54~58
- 4 Ji Jianghua, Qi Yunfeng, Zhu Xiaolei *et al.*. High-power quasi-continuous-wave Nd:YAG ceramic laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3): 415~418
纪江华,漆云凤,朱小磊等. 大功率准连续 Nd:YAG 陶瓷激光器研究[J]. *光学学报*, 2006, **26**(3): 415~418
- 5 Tang Hao, Zhu Xiaolei, Jiang Benxue *et al.*. Laser-diode: array side pumped Nd:YAG ceramic laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(12): 2001~2004
唐昊,朱小磊,姜本学等. 侧面抽运国产 Nd:YAG 陶瓷棒的激光特性[J]. *中国激光*, 2008, **35**(12): 2001~2004
- 6 J. Lu, M. Prabhu, J. Xu *et al.*. Highly efficient 2% Nd:yttrium aluminum garnet ceramic laser[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, **77**(23): 3707~3709
- 7 J. Lu, T. Murai, K. Takaichi *et al.*. 72 W Nd:Y₃Al₅O₁₂ ceramic laser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **78**(23): 3586~3588
- 8 J. Lu, K. Ueda, H. Yagi *et al.*. Neodymium doped yttrium aluminum garnet (Y₃Al₅O₁₂) nanocrystalline ceramics: a new generation of solid state laser and optical materials[J]. *J. Alloys Compd.*, 2002, **341**(1-2): 220~225
- 9 Y. Feng, J. Lu, K. Takaichi *et al.*. Passively Q-switched ceramic Nd³⁺:YAG/Cr⁴⁺:YAG lasers[J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**(4): 2944~2947

- 10 T. Omatsu, T. Isogami, A. Minassian *et al.*. > 100 kHz Q-switched operation in transversely diode-pumped ceramic Nd³⁺:YAG laser in bounce geometry [J]. *Opt. Commun.*, 2005, **249**(4~6): 531~537
- 11 J. Lu, J. Lu, T. Murai *et al.*. 36-W diode-pumped continuous-wave 1319-nm Nd:YAG ceramic laser [J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(13): 1120~1122
- 12 Q. Wang, C. Gao, Y. Zhao *et al.*. Laser-diode-pumped 1319-nm monolithic non-planar ring single-frequency laser[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(10): 594~596
- 13 D. Krennrich, R. Knappe, B. Henrich *et al.*. A comprehensive study of Nd:YAG, Nd:YAlO₃, Nd:YVO₄, Nd:GVO₄ lasers operating at wavelengths of 0.9 and 1.3 μm . Part 1: CW-operation[J]. *Appl. Phys.*, 2008, **B92**(2): 165~174
- 14 Zhaoxin, Yao Jianquan, Zhang Baigang *et al.*. A 3.11-W CW LD-end-pumped Nd:YAG laser at 1319 nm [J]. *J. Optoelectron. Laser*, 2006, **17**(6): 673~677
赵欣, 姚建铨, 张百钢 等. LD主泵浦 1319 nm 3.11 W-CW Nd:YAG 激光器[J]. *光电子激光*, 2006, **17**(6): 673~677