

输出镜透过率对 Cr : YAG 被动调 Q 激光器的影响

林洪沂^{1,2}, 李霖钦¹, 许英朝^{1,2}

(1. 厦门理工学院光电与通信工程学院, 福建 厦门 361024;

2. 福建省高校光电技术重点实验室, 福建 厦门 361024)

摘要:对 LDA 端面泵浦 Cr : YAG 被动调 Q Nd : YAG 激光器的输出特性进行了深入细致的研究, 重点分析了输出耦合镜的透过率 ($T=3\%$ 、 8% 、 20% 、 30% 、 40%) 对平均输出功率、脉冲宽度、重复频率、以及单脉冲能量和峰值功率的影响。研究表明:在特定的激光参数下, Cr : YAG 被动调 Q Nd : YAG 激光器的某些输出参数由输出镜透过率决定。 $T=8\%$ 时可以获得最大输出功率与重复频率, 而 $T=20\%$ 时, 可以获得最窄脉冲宽度、最高峰值功率以及最大单脉冲能量。

关键词:被动调 Q; Nd : YAG 激光器; 输出特性; 输出耦合镜

中图分类号: TN 248.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2015.01.008

Influence of output mirror transmissivity on the output characteristics of Cr : YAG passively Q – switched laser

LIN Hong-yi^{1,2}, LI Lin-qin¹, XU Ying-chao^{1,2}

(1. School of Optoelectronic and Communication Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

2. Key Laboratory of Optoelectronic Technology, Fujian Province University, Xiamen 361024, China)

Abstract: The output characteristics of a LDA end – pumped Cr : YAG passively Q – switched Nd : YAG laser are investigated. The influence of the transmissivity of the output coupling mirror ($T=3\%$, 8% , 20% , 30% , 40%) on the average output power, pulse width, repetition frequency, energy per pulse and peak power was analyzed. The results show that, with specific laser parameters, output mirror transmissivity decides some output parameters of Cr : YAG passively Q – switched Nd : YAG laser. When the transmissivity is 8% , the maximum output power and repetition frequency are obtained; and when the transmissivity is 20% , the narrowest pulse width, the highest peak power and the maximum energy per pulse are gotten.

Key words: passively Q – switched; Nd : YAG laser; output characteristics; output mirror

1 引言

LD 泵浦被动调 Q 全固态激光器具有效率高、体积小、重量轻、结构紧凑、光束质量好、性能稳定可靠、使用寿命长的优点, 广泛的应用于医学、军事、工业、信息等领域^[1-3]。Cr : YAG 是应用于 $0.8 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 波段最有竞争力的饱和吸收体, 具有光学性能稳定、导热性能好、抗损伤阈值高的特点, 因而得

到了广泛应用^[4-9]。2012 年, 李宏斌等采用 Cr : YAG 被动调 Q 技术, 获得的单脉冲能量大于 800 mJ ^[3]。

本文对 Cr : YAG 被动调 Q Nd : YAG 激光器的输出特性进行了细致的实验研究, 系统地分析了输出耦合镜透过率对激光各个参数的影响, 指出激光器输出特性与输出耦合镜有很大关系, 通过

基金项目:福建省教育厅 A 类科技项目 (No. JA12248); 国家自然科学基金项目 (No. 11304259) 资助。

作者简介:林洪沂 (1982 -), 男, 博士, 主要从事全固态激光技术的研究。E-mail: linyi0714@163.com

收稿日期: 2014-05-19

简单的改变输出镜,即可极大地改善脉冲激光器的某些输出参数。

2 实验装置

实验采用 LDA 端面泵浦结构, LDA 输出波长 808 nm, 输出功率 10 W, 经光纤耦合。LDA 发出的激光经耦合透镜(808 nm 高透)聚焦, 激励 Nd:YAG 激光晶体。Nd:YAG 晶体尺寸为 $\Phi 3 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$, 晶体左端(M_1)镀有 808 nm 增透膜与 1064 nm 高反膜, 右端镀有 1064 nm 增透膜。输出耦合镜 M_2 为平面镜, 实验中选用 1064 nm 透过率 T 分别为 3%、8%、20%、30%、40% 五种不同耦合镜。被动调 Q 饱和吸收体为 Cr:YAG, 初始透过率 $T_0 = 87.6\%$, 尺寸 $\Phi 5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$, 两面镀有 1064 nm 增透膜。激光晶体和被动调 Q 晶体固定在铜块上, 采用半导体制冷器控温。

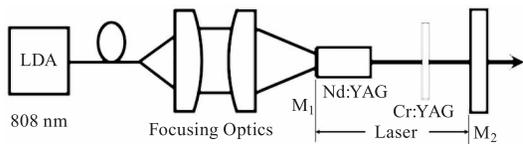


图1 Cr:YAG 被动调 Q Nd:YAG 激光器实验装置图

Fig. 1 The setup of the Cr:YAG passively Q-switched Nd:YAG laser

3 实验结果与分析

分别测量了不同输出镜 ($T = 3\%$ 、 8% 、 20% 、 30% 、 40%), Cr:YAG 被动调 Q 激光器的输出特性, 包括连续输出功率、脉冲运转的平均输出功率、重复频率和脉冲宽度, 并计算出对应的单脉冲能量和峰值功率^[9]。

3.1 连续与脉冲输出功率

首先测量了不同输出耦合镜透过率下, 连续 1064 nm 激光器的输出特性(如图 2 所示)。由图 2 可知, 对于特定的输出镜, 连续输出功率会随着泵浦功率的增加而增加。

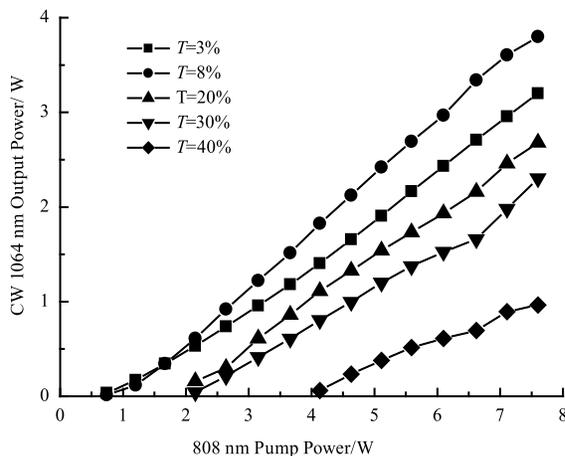


图2 采用不同的输出镜, 连续 1064 nm 激光输出功率

Fig. 2 The CW output power of the Nd:YAG laser at different transmittance rates of output mirror

在泵浦功率 7.6 W 时, 五个透镜的最大功率分别为 3.20 W ($T = 3\%$)、3.80 W ($T = 8\%$)、2.68 W ($T = 20\%$)、2.30 W ($T = 30\%$)、0.96 W ($T = 40\%$), $T = 8\%$ 输出功率最大, 光光转化效率为 50%。由此可见对于连续输出, 有一个最佳透过率, 对于此装置, 最佳透过率接近 8%^[3,7]。五个透镜的阈值分别为 0.5 W ($T = 3\%$)、0.6 W ($T = 8\%$)、1.9 W ($T = 20\%$)、2.1 W ($T = 30\%$)、3.9 W ($T = 40\%$), $T = 3\%$ 的阈值最小, 输出镜的透过率越小, 其阈值越小。

在谐振腔内加入 Cr:YAG 晶体, 可以实现脉冲运转。图 3 给出不同输出耦合镜透过率下, 平均功率的输出特性。其输出特性与连续输出的变化关系基本一致。在泵浦功率 7.6 W 时, 五个透镜的最大平均输出功率分别为 1.32 W ($T = 3\%$)、2.00 W ($T = 8\%$)、1.12 W ($T = 20\%$)、0.88 W ($T = 30\%$)、0.42 W ($T = 40\%$), $T = 8\%$ 平均输出功率最大, 光光转化效率为 26%。与连续相比, 功率下降主要是由插入损耗造成的。阈值分别为 1.5 ($T = 3\%$)、1.8 W ($T = 8\%$)、2.8 W ($T = 20\%$)、3.7 W ($T = 30\%$)、5.1 W ($T = 40\%$)。与连续运转相同, $T = 3\%$ 阈值最小。可见, 采用小透过率输出镜可以减小阈值, 但是不一定能提高脉冲输出功率。

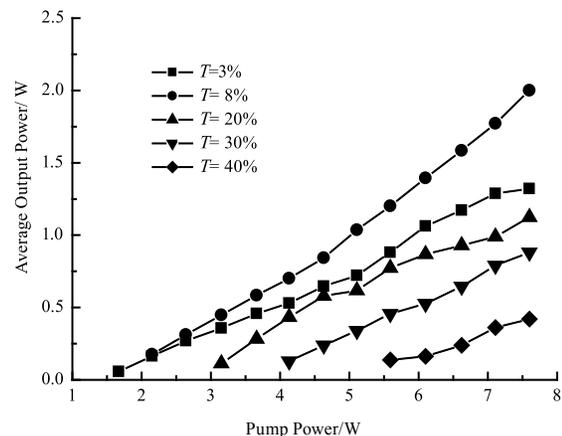


图3 采用不同的输出镜, 被动调 Q 1064 nm 激光的平均输出功率

Fig. 3 The average output power at different transmittance rate of output mirror

3.2 重复频率

图 4 给出不同输出耦合镜透过率下, 被动调 Q 激光器重复频率与泵浦功率的关系。重复频率会随着泵浦功率的增加而增加。在泵浦功率 7.6 W 时, 五个透镜的重复频率分别为 22.9 kHz ($T = 3\%$)、23.4 kHz ($T = 8\%$)、11.2 kHz ($T = 20\%$)、9.3 kHz ($T = 30\%$)、6.6 kHz ($T = 40\%$)。 $T = 8\%$ 时重复频率最大。对于重复频率, 同样存在一个最佳透过率。通过增加透过率, 可以很有效地降低重复频率。

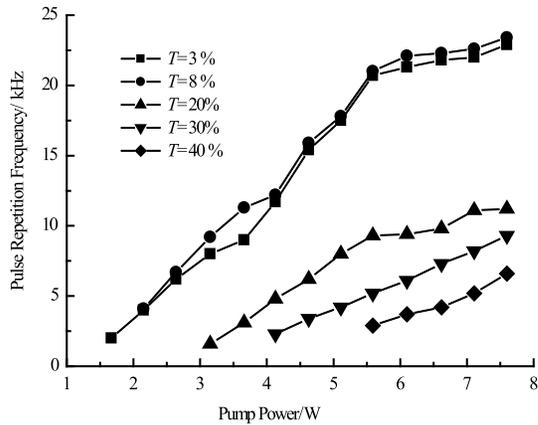


图4 采用不同的输出镜,被动调 Q 1064 nm 激光的重复频率
Fig. 4 The pulse repetition frequency at different transmittance rate of output mirror

根据激光物理理论,在泵浦功率固定时,当输出镜透过率减小时(40%→30%→20%),腔内的透射损耗会减小,腔内净增益增加,此时输出功率与重复频率会上升^[10]。而当输出镜透过率减小到一定程度时(8%→3%),腔内 1064 nm 激光功率密度又会增加,热透镜效应开始变强,激光晶体内基模半径开始增加,泵浦光斑与基模光斑交叠效率减小,腔内增益增长变慢,此时输出功率与重复频率又会变小^[4]。因此,对于重复频率与输出平均功率,存在一个最佳透过率。

3.3 单脉冲能量

通过平均功率和重复频率,可以计算单脉冲能量,如图 5 所示。当泵浦功率为 7.6 W 时,五种不同输出耦合镜的单脉冲能量分别为:57.7 μJ (T = 3%)、85.5 μJ (T = 8%)、100.4 μJ (T = 20%)、94.6 μJ (T = 30%)、63.6 μJ (T = 40%)。T = 20% 时可以获得最大单脉冲能量 100.4 μJ。对于最大单脉冲能量来讲,最佳透过率规律不太明显。

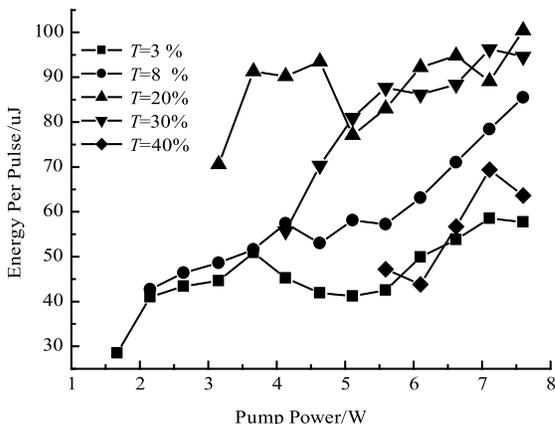


图5 采用不同的输出镜,被动调 Q 1064 nm 激光的单脉冲能量
Fig. 5 The energy per pulse at different transmittance rate of output mirror

3.4 脉冲宽度与峰值功率

采用 Tektronix (MDO4054 - 3) 示波器和快速 InGaAs 光电二极管测量了激光脉冲宽度,如图 6 所示。对于 T = 3%、8%、20%、30% 四种输出镜来讲,脉冲宽度变化范围不大,在泵浦功率 7.6 W 时,分别为 69.5 ns、46.6 ns、38.5 ns、45.7 ns;对于 T = 40% 输出镜,脉冲宽度随着泵浦功率的增加而减小,开始减小的幅度很大,最后趋于饱和,泵浦功率 7.6 W 时,脉冲宽度为 82.2 ns。T = 20% 时可以获得最窄脉冲 38.5 ns。

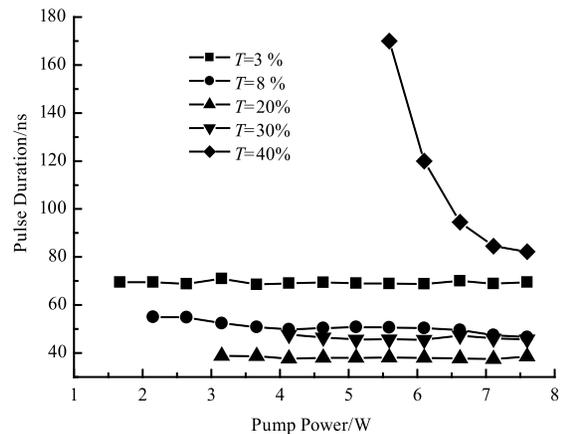


图6 采用不同的输出镜,被动调 Q 1064 nm 激光的脉冲宽度
Fig. 6 The pulse duration at different transmittance rate of output mirror

通过单脉冲能量和脉冲宽度,可以计算峰值功率,如图 7 所示。对于 T = 3%、8%、30%、40% 四种输出镜来讲,峰值功率随着泵浦功率的增加而增加,在泵浦功率 7.6 W 时,分别为 0.83 kW、1.83 kW、2.07 kW、0.77 kW;对于 T = 20% 输出镜,峰值功率随着泵浦功率的增加变化起伏很大,泵浦功率 7.6 W 时,峰值功率达到最高值 2.61 kW。

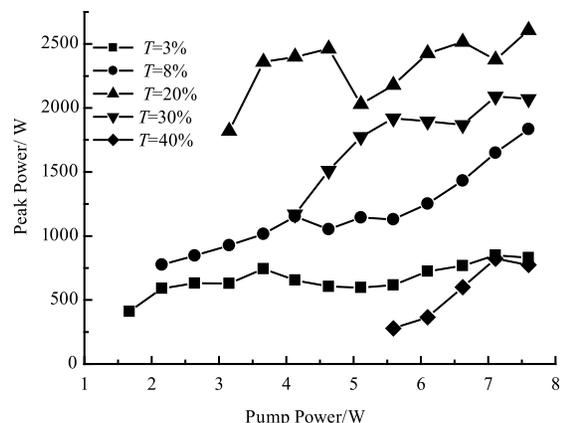


图7 采用不同的输出镜,被动调 Q 1064 nm 激光的峰值功率
Fig. 7 The peak power at different transmittance rate of output mirror

对于 T = 20% 输出镜,虽然平均功率得不到最

大值,但是可以获得最大单脉冲能量、最高峰值功率、最窄脉冲宽度。而 $T = 8\%$ 输出镜,虽然可以获得最大平均输出功率和重复频率,但是其单脉冲能量、峰值功率和脉宽表现一般。

4 结 论

输出耦合镜对于 Cr : YAG 被动调 Q 激光器的输出特性产生很大的影响。对于阈值来讲,透过率越小,阈值越小。而对于平均输出功率、单脉冲能量、峰值功率和脉冲宽度则存在一个最佳值,在实践中,需要考虑实际的需要,作出最合理的选择。文中深入细致地分析了输出镜透过率对脉冲激光器的各个参数的影响,为脉冲激光器的设计与制作提供了参考。

参考文献:

- [1] Kang Cheng, Shengzhi Zhao, Yufei Li, et al. Diode-pumped doubly passively Q-switched Nd : GdVO₄ 1.34 μm laser with V³⁺ : YAG and Co : LMA saturable absorbers [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2011, 28(1) : 149 - 154.
- [2] Zhe Sun, Qiang Li, Xin Chen, et al. Stable polarized diode-pumped passively Q - switched [100] - cut Nd : YAG laser with Cr⁴⁺ : YAG crystal [J]. Opt. & Laser Technol. , 2014, 60 : 56 - 60.
- [3] LI Hongbin, DONG Yi, WANG Pengfei, et al. Passive Q-switch high power burst laser [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(7) : 762 - 765. (in Chinese)
李宏斌,董怡,王鹏飞,等. 被动调 Q 高功率脉冲串激光器 [J]. 激光与红外, 2012, 42(7) : 762 - 765.
- [4] YANG Xiaodong, HOU Xinhua. Investigation on the Output characteristics of LD end-pumped Cr⁴⁺ : YAG passively Q-switched laser [J]. Acta Photonica Sinica, 2012, 41(10) : 1145 - 1148. (in Chinese)
- 杨晓冬,侯新华. LD 端面泵浦 Cr⁴⁺ : YAG 被动调 Q 激光器输出特性研究 [J]. 光子学报, 2012, 41(10) : 1145 - 1148.
- [5] E Rääkkönen, O Kimmelmab, M Kaivolaa, et al. Passively Q-switched Nd : YAG/KTA laser at 561 nm [J]. Opt. Commun. , 2008, 281(15 - 16) : 4088 - 4091.
- [6] Marziyeh Erfani Jazi, Mahdi Dehghan Baghi, Morteza Hajimahmodzadeh, et al. Pulsed Nd : YAG passive Q-switched laser using Cr⁴⁺ : YAG crystal [J]. Opt. & Laser Technol. , 2012, 44(3) : 522 - 527.
- [7] LIN Hongyi, MIAO Jieguang, TAN Huiming, et al. Extracavity, wide-tunable, passively Q-switched Nd : YVO₄/PPMgLN optical parametric oscillator [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2010, 22(1) : 15 - 18. (in Chinese)
林洪沂,苗杰光,檀慧明,等. 外腔式宽调谐被动调 Q Nd : YVO₄/PPMgLN 光学参量振荡器 [J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(1) : 15 - 18.
- [8] Chunhua Zuo, Jingliang He, Haitao Huang, et al. Efficient passively Q-switched operation of a diode-pumped Nd : GGG laser with a Cr⁴⁺ : YAG saturable absorber [J]. Opt. & Laser Technol. , 2009, 41(1) : 17 - 20.
- [9] LIN Hongyi, TAN Huiming, TOAN Yubing, et al. LDA End-pumped acousto-optics Q-switched Yb : YAG 1.03 μm Laser [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(1) : 25 - 27. (in Chinese)
林洪沂,檀慧明,田玉冰,等. LDA 端面泵浦声光调 Q Yb : YAG 1.03 μm 激光器 [J]. 激光与红外, 2008, 38(1) : 25 - 27.
- [10] Y Shimony, Z Burshtein, A B Baranga. Repetitive Q-switching of a CW Nd : YAG laser using Cr : YAG saturable absorbers [J]. IEEE J. Quantum Elect. , 1996, 32(2) : 305 - 310.