

文章编号: 0258-7025(2002)06-0492-03

LD 抽运被动调 Q Nd:YAG/LBO 绿光激光器

郑 权¹, 赵 岭², 姜耀亮¹, 叶子青¹

(¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130022; ²中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提要 报道了一种 LD 抽运 Nd:YAG/LBO 腔内倍频, Cr:YAG 被动调 Q 结构的绿光激光器。在注入抽运功率为 600 mW 时, 得到平均功率 27 mW, 脉冲宽度 15.2 ns, 重复频率 16.4 kHz, 峰值功率 108.1 W 的被动调 Q 脉冲绿光输出。

关键词 LD 抽运, Nd:YAG, Cr:YAG 被动调 Q, 绿光激光器

中图分类号 TN 248.1⁺3 文献标识码 A

LD-pumped Passively Q-switched Nd:YAG/LBO Green Laser

ZHENG Quan¹, ZHAO Ling², JIANG Yao-liang¹, YE Zi-qing¹

¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022

²Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

Abstract A LD-pumped, Cr:YAG passively Q-switched Nd:YAG/LBO green laser was reported in this paper. With 600 mW incident pump laser, Q-switched green laser with average power of 27 mW, pulse width of 15.2 ns, repetition rate of 16.4 kHz and peak power of 108.1W was obtained.

Key words LD-pumped, Nd:YAG, Cr:YAG, passive Q-switching, green laser

1 引 言

相对主动调 Q 方式, 被动调 Q 激光器结构简单, 不需要任何外部驱动装置。近几年来, 具有良好物理化学性能的慢饱和吸收体 Cr:YAG 的出现引起了国内外学者的极大兴趣^[1]。Cr:YAG 被动调 Q 方式已经在 LD 抽运的 Nd:YAG, Nd:YLF, Nd:YVO₄ 和 Nd:S-FAP 等激光器中成功地得到运用, 获得了高重复频率脉冲红外激光输出^[2~5]。但对于 LD 抽运掺 Nd³⁺ 晶体, 非线性晶体腔内倍频, Cr:YAG 被动调 Q 绿光激光器, 直到 2000 年的 SPIE 会议上才有报道^[6]。该文采用折叠腔结构, 用 1 W 的 LD 抽运 Nd:S-FAP 晶体, 经 KTP 晶体腔内倍频, 结果得到了平均功率约 8 mW, 脉冲宽度 17 ns, 重复频率 12.5 kHz 的调 Q 脉冲绿光输出。

本文报道使用国产连续 LD 抽运, LBO 腔内倍

频的 Nd:YAG/Cr:YAG 结构的被动调 Q 绿光激光器, 并对调 Q 绿光输出的平均功率、脉冲宽度、重复频率和峰值功率等重要指标随抽运功率的变化作了有益探索, 得出了一些规律性结论。

2 实验装置

使用连续激光二极管抽运 Nd:YAG 晶体, 得到 1064 nm 连续红外激光, 腔内加入倍频晶体 LBO, 能够获得 532 nm 连续绿光输出; 再在 Nd:YAG 和 LBO 间插入可饱和吸收体 Cr:YAG, 则可获得被动调 Q 脉冲绿光输出。

需要说明的是, 考虑到 KTP 晶体在高重复频率、高功率密度绿光作用下很容易出现“灰线(Gray tracks)”, 不利于激光器的长期稳定运转^[7], 因此, 我们从产品化角度出发, 在实验中使用了非线性系数

收稿日期 2001-04-16; 收到修改稿日期 2001-06-13

基金项目 国家 863 计划高技术资助项目(No. 863-307-13-02, 863-Z35-2B)

作者简介 郑权(1973—)男, 黑龙江甘南县人, 博士, 主要从事激光与非线性光学技术研究。E-mail: zhengquanok@163.com

较小但抗光损伤阈值很高的 LBO 作为倍频晶体。

实验装置如图 1 所示。

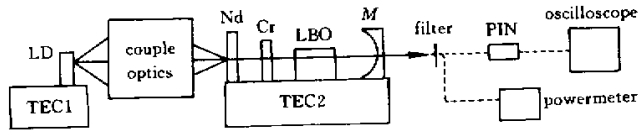


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Setup of Q-switched green laser

Nd: Nd:YAG; Cr: Cr:YAG; M: output mirror

LD 是一只连续输出 1 W 的国产 GaAlAs 量子阱激光二极管,其发光结尺寸为 $1\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, 18°C 下中心发射波长为 $807.3\ \text{nm}$, 发散角为 $7.8\ \text{deg} \times 28.6\ \text{deg}$ 。通过制冷器 TEC1 严格的温控措施,使其波长调节为 $808.5\ \text{nm}$, 与 Nd:YAG 的吸收峰重合,从而最大限度地利用抽运光。

LD 发出的光空间分布不对称且存在像散,需要经过圆化整形和聚焦后注入激光晶体,否则会因模式匹配不好易产生多横模振荡,影响输出光斑质量^[8]。这里,LD 发出的光经耦合光学部分形成了椭圆度 0.92,焦点半径约 $105\ \mu\text{m}$ 的高质量抽运光斑入射至 Nd:YAG 上。该抽运光斑尺寸略小于腔内基模在 Nd:YAG 上形成的光斑,可以确保充分利用抽运光并实现单横模振荡。

激光晶体 Nd:YAG(厚 $3.0\ \text{mm}$,掺杂浓度 $1.0\ \text{at.}\%$)的左端面镀 $808\ \text{nm}$ 增透膜和 $1064\ \text{nm}$ 高反膜作为激光器的一个腔镜,右端面镀 $1064\ \text{nm}$ 增透膜,调 Q 晶体 Cr:YAG($7\ \text{mm} \times 7\ \text{mm} \times 1.4\ \text{mm}$,对 $1064\ \text{nm}$ 的吸收系数 $\alpha = 1.0\ \text{cm}^{-1}$,小信号通过率 $T_0 = 87\%$)两面均镀 $1064\ \text{nm}$ 增透膜;倍频晶体 LBO($2\ \text{mm} \times 2\ \text{mm} \times 10\ \text{mm}$,I 类临界相位匹配)两端均镀 $1064\ \text{nm}$ 和 $532\ \text{nm}$ 增透膜。输出平凹镜 M 左凹面(曲率半径 $50\ \text{mm}$)镀 $1064\ \text{nm}$ 高反膜($R_{1064\ \text{nm}} > 99.8\%$)和 $532\ \text{nm}$ 增透膜($R_{532\ \text{nm}} < 5\%$),右平面镀 $532\ \text{nm}$ 增透膜($R_{532\ \text{nm}} < 1\%$)。整个谐振腔置于制冷器 TEC2 上。为获得较窄的脉冲宽度,腔内各元件尽可能地靠近以缩短腔长。但由于机械调整结构的限制,实验中使用的腔长约为 $17\ \text{mm}$ 。

3 实验结果

测量前先滤去 $808\ \text{nm}$ 和 $1064\ \text{nm}$ 的光干扰,用 Coherent 公司的 LabMaster Ultima P540 功率计、

重庆光电所产 GT-106 型 PIN 快速硅光电二极管和瑞士产 $300\ \text{MHz}$ 带宽 LeCroy 9361C 型数字示波器分别对该激光器调 Q 脉冲绿光输出的平均功率、脉冲宽度、脉冲周期(重复频率)和峰值功率等重要参数进行测量。

测得抽运光阈值约为 $290\ \text{mW}$ 。在注入抽运功率为 $600\ \text{mW}$ 时,得到平均功率 $27\ \text{mW}$,脉冲宽度 $15.2\ \text{ns}$,重复频率 $16.4\ \text{kHz}$,峰值功率达 $108.1\ \text{W}$ 的被动调 Q 脉冲绿光输出,输出光束质量为 TEM_{00} 模,光-光转换效率为 4.5% ,未出现饱和。

图 2(a)~(d)分别给出了不同注入抽运功率下调 Q 绿光激光脉冲输出的平均功率、脉冲宽度、重复频率和峰值功率的变化曲线。可以看出,随注入抽运功率的增加,调 Q 绿光脉冲输出的平均功率和重复频率显著增加,而脉冲宽度和峰值功率却表现出大部分点稳定而某些点剧烈波动的现象。若除去波动点不考虑,脉冲宽度随抽运功率的增加略微增大,而峰值功率基本保持不变。

对于图 2(b)和(d)中的剧烈波动点,并不是激光器工作不稳或测量失误而引起的。从示波器上观察,随注入抽运功率的增加,调 Q 绿光脉冲波形在稳定单峰(图 2(a))和不稳定双峰(图 2(b)),通常一大一小)间交替改变,图 2(a)和(d)中的剧烈波动点恰好出现在双峰脉冲出现的时候。此时,大峰的能量被临近的小峰分去一部分,从而峰值功率开始下降。而在测量脉冲宽度时测量的只是半峰值功率点,若小峰高度低于大峰的一半,小峰的存在在测量值上将得不到体现,测量的脉宽仅为大峰的,所以脉宽值反而小了。因此,图 2(a)和(d)中在抽运功率为 $500\ \text{mW}$ 时出现的脉宽窄而峰值功率低的现象并不矛盾。由此也可以预见,在某种条件下,倘若小峰进一步加高,当它超过大峰的一半时,示波器显示的脉宽将变得很大。

当然,在实际应用中一般是不希望双峰现象发

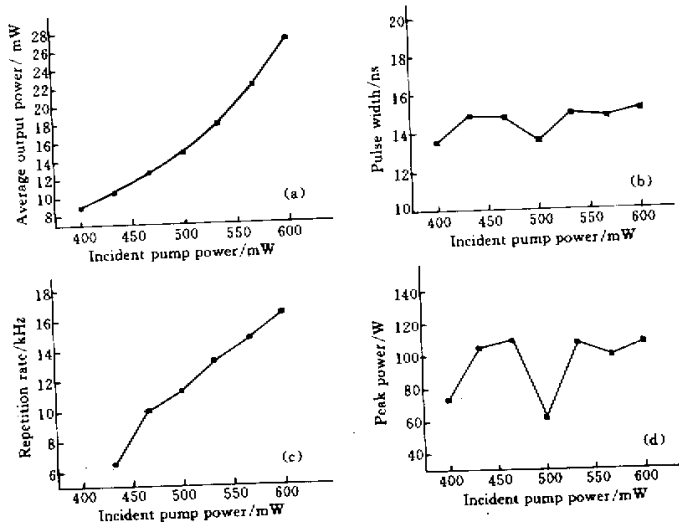


图 2 平均功率(a) 脉冲宽度(b) 重复频率(c) 和峰值功率(d) 随抽运功率的变化

Fig. 2 Average power (a), pulse width (b), repetition rate (c) and peak power (d) vs pump power

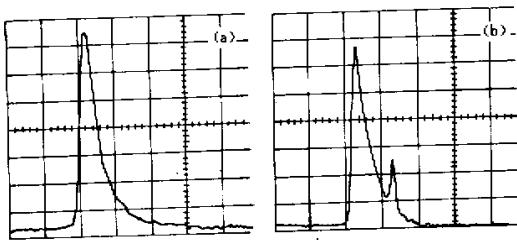


图 3 不同脉冲波形

(a) 单峰 (b) 双峰

Fig. 3 Different waveforms of green pulse

(a) single-peak pulse ; (b) dual-peak pulse

生的。实验发现,只要条件适合(如变化注入抽运功率或改变温控条件等)使该激光器输出稳定的单峰调 Q 脉冲还是容易实现和保证的。

以上实验结果证明,所采用的连续激光二极管抽运 Nd:YAG 晶体, LBO 晶体腔内倍频,慢饱和吸收体 Cr:YAG 被动调 Q 全固体绿光激光器结构紧凑,输出的调 Q 绿光脉冲宽度窄、峰值功率高、重复频率大,适合产品化。文中还对调 Q 绿光输出的平均功率、脉冲宽度、重复频率和峰值功率等重要指标随抽运功率的变化关系做了有益探索,得出了一些规律性结论。

另外,实验过程中未出现饱和现象,表明若采用大功率二极管或进一步优化激光器结构(如缩短腔

长、减小 Cr:YAG 的小信号通过率、采用三镜折叠谐振腔等),有可能会获得脉冲宽度更窄、峰值功率更高、重复频率更大的调 Q 脉冲绿光输出。

参 考 文 献

- 1 Ren Yuxin, Lin Lihuang, Ouyang Bin. Absorption of excited state of Cr:YAG crystal [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(2): 225~227 (in Chinese)
- 2 Y. Shimony, Z. Burshtein, A. Ben-Amar Baranga. Repetitive Q-switching of a cw Nd:YAG laser using Cr⁴⁺:YAG saturable absorbers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1996, **32**(2): 305~310
- 3 Wang Chun, Hu Wentao, Chen Shaoh. LD end-pumped Cr:YAG passively Q-switched Nd:YLF laser [J]. *Chinese J. Quantum Electron.* (量子电子学报), 1997, **14**(4): 359~362 (in Chinese)
- 4 Y. X. Bai, N. Wu, J. Zhang *et al.*. Passively Q-switched Nd:YVO₄ laser with a Cr⁴⁺:YAG crystal saturable absorber [J]. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(12): 2468~2472
- 5 X. Zhang, S. Zhao, Q. Wang. Laser diode pumped Cr⁴⁺:YAG passively Q-switched Nd³⁺:S-FAP laser [J]. *Opt. Comm.*, 1998, **155**(1): 55~60
- 6 S. Zhao, X. Zhang, Q. Wang. Diode-laser-pumped passively Q-switched Nd:S-FAP green laser [C]. *SPIE*, 2000, **3929**: 261~265
- 7 J. P. Feve, B. Boulanger, G. Marnier. Repetition rate dependence of gray-tracking in KTiPO₄ during second-harmonic generation at 532 nm [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**(3): 277~279
- 8 Paolo Laporta, Marcello Brusaard. Design criteria for mode size optimization in diode-pumped solid-state lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(10): 2319~2326