

文章编号 :1001-5078(2004)06-0433-03

CrYAG 被动调 Q 腔外倍频 473nm 蓝光激光器

谭成桥,郑 权,薛庆华,王军营,贾富强

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130022)

摘 要:通过对 CrYAG 被动调 Q 腔外倍频 473nm 蓝光全固态激光器的优化设计,合理的选择了激光晶体,调 Q 晶体,谐振腔长,最佳聚焦光斑,在泵浦功率为 1.2W 的情况下,获得了 160mW 的 946nm 连续红外输出,CrYAG 被动调 Q 输出平均功率为 70mW,峰值功率为 200W,用 LBO 腔外倍频获得了 1.5mW 的 473nm 蓝光脉冲输出,转换效率为 2.2%。达到国内同等条件下的最好水平。

关键词:被动调 Q;腔外倍频;全固态;蓝光激光器;最佳聚焦

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

CrYAG Passively Q-switched and Extra Cavity Double Frequency at 473nm Laser

TAN Cheng-qiao, ZHENG Quan, XUE Qing-hua, WANG Jun-ying, JIA Fu-qiang
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics CAS, Changchun 130022, China)

Abstract: In this paper, through optimum design to passively Q-switched by CrYAG at 946nm, we choice the gain crystal, Q-switched crystal, length of the cavity and optimum focusing. With 1.2W incident pump power, we get 946nm continuous infrared output power as high as 160mW, average power 70mW at passively Q-switched, the peak-power up to 200W. By extra cavity frequency doubling, an output power of 1.5mW at 473nm was generated. The efficiency of optic is 2.2%, and this is highest power in the same condition in China.

Key words: passively Q-switched; extra-cavity frequency doubling; solid state laser; blue laser; optimum focusing

1 引 言

调 Q 脉冲激光器是应用最为广泛的脉冲激光器之一,在测距、遥感、通信、非线性光学,尤其是光谱学研究中有着广泛的应用。NdYAG 作为一种应用最为广泛的激光工作物质,其优异的物化性能(高的热导率、抗损伤阈值),比较长的上能级寿命(230 μ s),特别适合于调 Q。调 Q 技术有主动调 Q 和被动调 Q 两种。主动调 Q 结构复杂、价格高、体积大、需加强电压,相比较于主动调 Q 而言,被动调 Q 具有结构简单、体积小、易实现器件小型化、产业化

等优点在很多领域获得了广泛应用。

由于 CrYAG 优异的物理化学性能,其在 LD 抽运的 NdYAG、NdYLF 和 NdYVO₄ 等激光器中成功的得到了应用,输出了高重复频率脉冲 1064nm 激光。尽管 NdYAG 的准三能级⁴F_{3/2}-⁴I_{9/2}跃迁波长 946nm^[1]实现连续运转,腔内倍频可得 473nm 蓝光,

作者简介:谭成桥(1980-),男,中科院长春光机所在读硕士研究生,主要从事全固态激光器及非线性频率变换的研究。E-mail: bridge19800501@tom.com

收稿日期:2004-03-19 修订日期:2004-05-21

作者所在的课题组在这方面亦做了大量的工作,获得了稳定和功率 473nm 蓝光^[2,3],但用 CrYAG 实现被动调 Q 运转现在还处于研究阶段^[4,5],像 1064nm 那样实现高功率、高重复频率、稳定运转还需要很多工作要做。

2 理论分析

被动调 Q 晶体的小信号透过率和输出镜的最佳透过率对被动调 Q 激光器来说至关重要,它将直接影响到激光脉冲的输出能量,峰值功率,脉宽,效率等重要参数^[7,8]。因此合理的设计被动调 Q 晶体的小信号透过率和输出镜的最佳透过率是本实验能够进行并且理想运转的关键。

按照 JOHN J. DEGNAN 的理论^[8],在一定的泵浦功率下,腔内的增益要与损耗达到一个平衡,在静态情况下,就是增益要等于腔内所有的损耗。即:

$$G_0 = 1 - T_0 + T_{oc} + a_{re} + L \quad (1)$$

式中 G_0 增益, T_0 为调 Q 晶体的小信号透过率, T_{oc} 为输出镜的最佳透过率, a_{re} 为准三能级系统的激光下能级的吸收损耗, L 为腔内的线性损耗,它包括散射、吸收、衍射等一系列损耗,用 CrYAG 作被动调 Q 晶体时,它还包括 CrYAG 的激发态能级的吸收损耗,很多作者都注意到了这个现象^[5,6]。通过分析,我们取输出镜透过率为 3%, CrYAG 的小信号透过率为 87%。

在低转换效率下,不考虑基频光的抽空,倍频效率为:

$$\eta_{shg} = p_2 / p_w = 21^2 \cdot 3 \cdot w_l^2 d^2 (p_w / A) \text{sinc}^2(kl/2) \quad (2)$$

可知,其效率与 $(l^2 d^2)$ 、功率密度 (p_w / A) 、位相匹配因子 $\text{sinc}^2(kl/2)$ 成正比,考虑到光斑质量的要求,我们选 LBO 作倍频晶体,因其非线性系数比较小,尤其是腔外倍频,势必影响倍频效率,因此,我们必须保证位相匹配,且尽可能的提高功率密度。

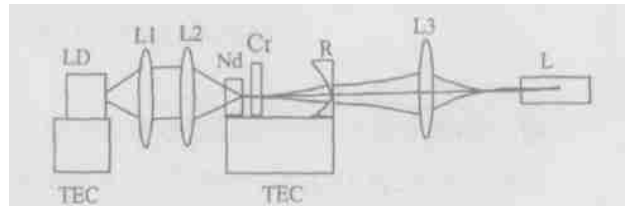
一旦倍频晶体长度选定,就有一个最佳聚焦使倍频效率最佳,按照 Boyd 和 Kleinman 的理论^[10],非线性晶体的量为晶体走离效应决定的双折射参数:

$$B = \frac{\sqrt{k}}{2} \quad (3)$$

其中 θ 为晶体走离角, l 为晶体长度, $k = 2 / \lambda$ 为基波波矢,由 B 与最佳聚焦 r_m 的关系,可确定聚焦光斑大小。实验中,我们所选取的 LBO 长度为 10mm,其

最佳束腰为 $10\mu\text{m}$ 。按照高斯光束的传播理论^[11],我们选定聚焦透镜,通过改变束腰到透镜的距离 (L) 来达到最佳聚焦效果,本实验中取 $L = 26\text{mm}$ 。

3 实验装置与结果



LD:激光二极管;L1,L2:耦合光学系统;NdYAG;CrYAG;
R:输出镜;L3:聚焦镜;LBO;TEC:半导体制冷器

图1 实验装置示意图

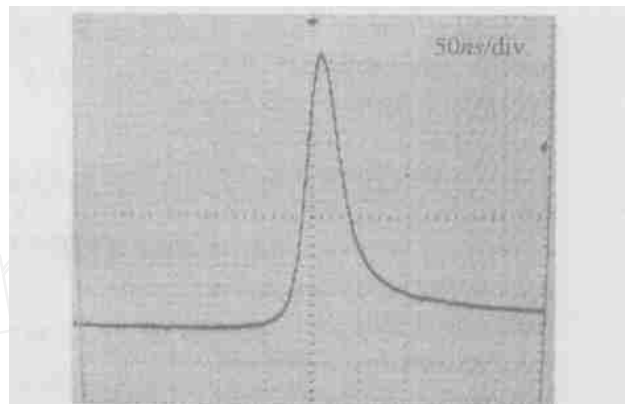


图2 473nm 调Q 蓝光脉冲波形

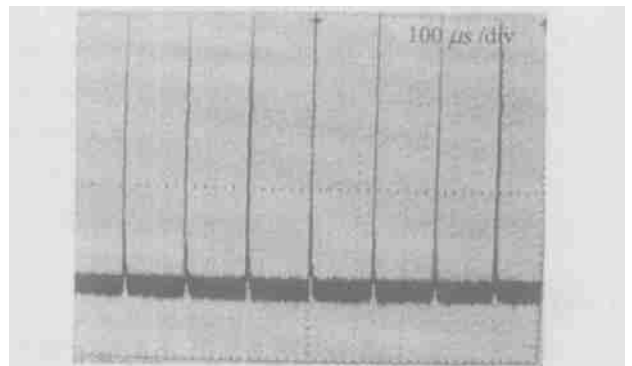


图3 调Q 蓝光脉冲输出

实验装置如图 2 所示:所用 2W LD 为中科院北京半导体所研制的,在 1.8A 电流的时候,输出功率为 1.2W,LD 由温控控制,调节 LD 晶体温度,使其发射中心波长为 808.5nm,与 NdYAG 的吸收峰相重合,LD 光斑经准直聚焦成约 $80\mu\text{m}$ 的光斑,NdYAG 为 1% 掺杂,1.5mm,用铝箔包裹置于铜座上,采用半导体制冷器进行制冷,以减少工作物质的下能级粒子数,从而减少激光阈值和下能级再吸收,并且有利于转化的热能从晶体中带走。输出镜的曲率半径为 $R =$

50mm,凹面镀 946nm 高反膜 ($T = 3\%$),同时镀 1064nm 增透膜 ($T > 70\%$),抑制 1064nm 的起振,另一面镀 946nm 增透膜 ($T = 98\%$),按照模式匹配理论^[12],取腔长 $l = 20\text{mm}$,从而最大限度的利用泵浦光,且保证基横模运转。输入泵浦光,在电流为 1.8A 的时候,仔细调节出镜,获得了 160mW 的 946nm 连续红外输出,功率稳定性好。在紧靠 NdYAG 腔内束腰处加入调 Q 晶体 (1% 掺杂,1mm 厚,小信号透过率 = 87%),两端均镀 946nm 增透膜,获得了平均功率 70mW 和 946nm 脉冲输出。在较长的时间范围内 (3h),几乎观察不到功率起伏。用光电探测器连接到示波器上,观察其波形图,如下:

调 Q 平均功率 $P = 70\text{mW}$,周期 $T = 100\mu\text{s}$,脉宽 = 35ns,峰值功率达到了 200W,脉冲稳定性优于 10%。为我们下一步的实验提供了可靠的保证。将焦距 $f = 45\text{mm}$ 的透镜放在出镜后 $L = 26\text{mm}$ 处,将一类临界相位匹配倍频晶体 LBO ($\theta = 90^\circ; \phi = 19.4^\circ$) 置于透镜焦点处,仔细调节,获得了平均功率为 1.5mW 的 473nm 蓝光脉冲输出,光光转换效率为 2.2%。用示波器观察,脉宽明显缩短,约为 20ns,周期几乎不变,峰值功率为 15W。图 4 为 946nm 连续,946nm 调 Q 平均功率,473nm 脉冲平均功率随泵浦功率变化曲线图:

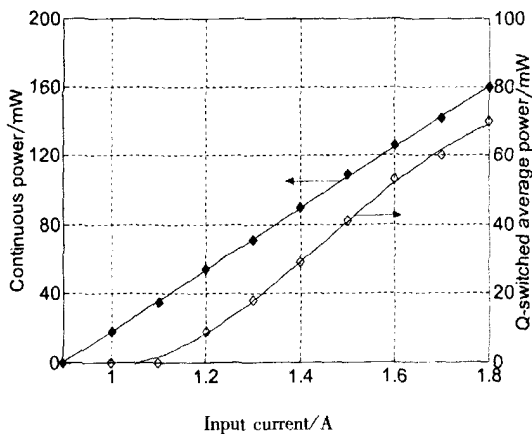


图 4 输入输出曲线图

从图中可以看出,功率并没有达到饱和,这为我们下一步实验提供了保证,今后,我们将进一步优化设计,在增大泵浦功率的情况下,尽量避免热效应并

减少激光下能级再吸收,以望获得更高的并 473nm 脉冲输出。

4 结论

通过对 NdYAG 准三能级系统 946nm 的优化设计,合理的选择了激光晶体、调 Q 晶体、谐振腔长、最佳聚焦光斑,在泵浦功率为 1.2W 的情况下,获得了 160mW 的 946nm 连续红外输出,平均功率 70mW 的被动调 Q 输出,峰值功率为 200W;用一类临界相位匹配晶体 LBO 腔外倍频,获得了 1.5mW 的 473nm 脉冲蓝光输出,峰值功率为 15W。据我们所知,这是国内同等条件下的最好水平。

参考文献:

- [1] T Y Fan, R L Byer. Modeling and CW Operation of a Quasi-Three-Level 946nm NdYAG Laser [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1987, 23(5): 605 - 612.
- [2] 薛庆华, 郑权, 王军营. 用全波片实验 473nm 蓝光激光器的稳定运转 [J]. 中国激光 (已录用).
- [3] 王军营, 郑权, 薛庆华. 1W 连续输出 473nm 全固态激光器 [J]. 中国激光 (已录用).
- [4] 郑权, 赵岭, 等. Cr:YAG 被动调 Q 全固态蓝光激光器 [J]. 中国激光, 2003, 30(8): 673 - 676.
- [5] T Kellner, F Heine, etc. Passive Q-switching of a diode-pumped 946-nm Nd:YAG laser with 1.6-W average output power [J]. Applied Optics 1998, 37(30): 7076 - 7079.
- [6] W P Risk, etc. Modeling of longitudinally pumped solid state lasers exhibiting reabsorption losses [J]. J. Opt. Soc. Am. B. 1998, 5(7): 1412 - 1423.
- [7] Xingyu Zhang, Shengzhi Zhao, etc. Optimization of Cr⁴⁺-Doped Saturable-Absorber Q-Switched Lasers [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1997, 33(12): 2286 - 2294.
- [8] John N Degnan. Optimization of passively Q-switched lasers [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1995, 31(5): 1890 - 1899.
- [9] 郑权, 赵岭, 邵永红. Cr:YAG 被动调 Q 全固态 473nm 蓝光激光器 [J]. 中国激光, 2003, 30(8): 673 - 676.
- [10] G D Boyd, D A Kleinman. Parametric interaction of gaussian light beams [J]. Applied physics., 1968, 39(8): 3597 - 3639.
- [11] 吕百达. 激光光学 [M]. 成都: 四川大学出版社, 1992.
- [12] P Laporta, M Brussard. Design criteria for mode size optimization in diode-pumped solid-state lasers [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1991, 27(10): 2319 - 2326.