

高能量 LD 泵浦 Nd : YAG 板条激光器

沈兆国¹, 唐刚峰¹, 董涛¹, 羊毅¹, 滕云鹏¹, 蔡猛¹, 孙军²

(1. 中航工业洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009; 2. 南开大学物理学院, 天津 300071)

摘要:为了获得高能量 532 nm 激光输出, 利用电光调 Q 晶体 LN, 通过调 Q 同步驱动技术和 LD 侧面泵浦板条技术, 获得高能量窄脉宽 1.06 μm 激光输出, 泵浦非线性晶体 KTP 进行频率变换, 实现高能量 532 nm 激光输出。在电源输入电流 120 A、调 Q 驱动频率 10 Hz 的条件下, 获得 264 mJ 的 1.06 μm 激光。利用该 1.06 μm 激光泵浦 KTP 获得最高能量为 185 mJ 的 532 nm 绿光激光输出, 1.06 μm 到 532 nm 的转化效率为 70%。实验结果表明: 通过电光调 Q 技术和 LD 侧面泵浦技术, 可以实现高能量窄脉宽 1.06 μm 激光输出, 泵浦 KTP 可获得高能量绿光激光输出。

关键词:激光器; 电光调 Q; 板条; 绿光

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2016.02.012

LD pumped Nd : YAG high energy slab laser

SHEN Zhao-guo¹, TANG Gang-feng¹, DONG Tao¹, YANG Yi¹, TENG Yun-peng¹, CAI Meng², SUN Jun²

(1. Electro-optical Equipment Research Institute of AVIC, Luoyang 471009, China;

2. School of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: To get high energy green laser, using electro-optical Q-switched crystal LN, 1.06 μm high energy narrow width laser output is obtained through Q-switched synchronization driving technology and LD-side-pumped slab technology. KTP is pumped to get high energy green laser output. As the input current is 120 A and the Q-switched frequency is 10 Hz, 1.06 μm laser output energy is 264 mJ, and optical-to-optical conversion efficiency is 70%. Experiment results indicate that high repetition narrow width 1.06 μm laser can be obtained through electro-optical Q-switched driving technology and LD-side-pumped technology, and high energy green laser output can be gotten by pumping KTP.

Key words: laser; electro-optical Q-switched; slab laser; green laser

1 引言

随着激光技术发展, 要求激光器频率越来越高、体积越来越小、维护越来越简单, 效率高、寿命长、易维护的半导体泵浦板条激光器是激光器工程化较佳选择, 采用半导体泵浦激光器已在国内外激光领域得到广泛应用。目前半导体泵浦的高重频激光器大

多采用液冷方式, 并且配备水箱, 体积较大, 而在一些特殊应用场合, 需要配备特殊冷却液, 以防低温结冰或粘稠, 影响冷却效果, 同时要求宽温应用情况下密封要求极高, 稍有不慎, 就会发生冷却液渗漏, 给激光器应用及维护带来诸多不便。

半导体激光器泵浦的板条固体激光器由于其热

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 61575099) 资助。

作者简介: 沈兆国 (1981 -), 男, 硕士, 工程师, 主要从事激光技术及激光器总体设计研究。

收稿日期: 2015-05-12

效应低、转换效率高、体积小、质量轻、寿命长等优点,可以实现全风冷散热方式,无需液体冷却,不会存在液体泄露问题,维护方便。与倍频变换技术相结合可实现 532 nm 绿光波段的运转。为了获得高的频率变换效率,需要提高基频光的峰值功率,利用重频调 Q 技术(被动调 Q、机械调 Q、声光调 Q 和电光调 Q),实现窄脉宽高功率的激光输出,可用于远程激光测距、激光光电对抗、激光雷达等领域^[1-5]。

2 LD 侧面泵浦 Nd : YAG 板条 1064 nm 激光器构型设计

图 1 为 LD 侧面泵浦 Nd : YAG 电光调 Q 激光器试验装置图。图中 1 为全反镜,2 为双光楔,3 为调 Q 晶体,4 为偏振片,5 为振荡级泵浦阵列,6 为振荡级板条激光棒,7 为输出镜,8 为折转角锥棱镜,9 为放大级泵浦阵列,10 为放大级板条激光棒。其中 1、2、3、4、5、6、7 元件构成振荡级,用以产生种子脉冲。工作时激光电源触发二极管阵列,使阵列放电,产生在 YAG 激光晶体吸收带内的光谱辐射。这些光被聚光腔耦合到激光工作介质 6 上,储存在激光工作介质激发态能级。为了提高激光脉冲能量及峰值功率,这时以偏振片和 Q 开关组成的开关关闭,阻止腔镜的反馈,阻断受激辐射。当激光工作介质激发态能级储存的粒子数达到最大时,偏振片和 Q 开关组成的开关迅速打开,腔内迅速产生激光振荡,产生波长为 1.064 μm 的激光脉冲,该激光脉冲经腔外折转棱镜 8,注入到放大级中产生放大的激光脉冲。

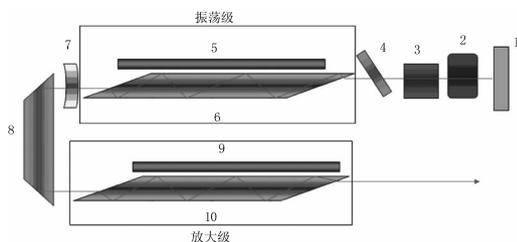


图 1 LD 侧面泵浦 Nd : YAG 电光调 Q 激光器试验装置图

Fig. 1 LD pump Nd : YAG electro-optical Q-Switched laser experiment setup

高能量激光器具有较高的光光转换效率和良好的散热特性。而板条激光器具有较大的冷却表面积,可以更好地散热。而且在板厚度内基本上是一维温度梯度。如果光束在板条内沿温度梯度面做之字形传播,则激光介质的热透镜效应和热致双折射

效应将大大减小。因而在本方案中采用板条结构的工作介质来提高整个激光器的整体效率。

泵浦构型如图 2 所示,图中,1 为风扇热交换器;2 为 TEC;3 为半导体激光阵列;4 为 Nd : YAG 板条;5 为板条热沉。

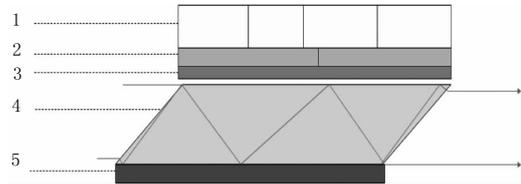


图 2 LD 侧面泵浦构型试验装置图

Fig. 2 LD pump configuration experiment setup

激光入射出射端面采用特定角度以增加增益面积,同时两个侧面磨毛,防止寄生振荡。泵浦方式采用激光二极管阵列直接泵浦耦合,利用 TEC 及风扇散热部件进行散热温控。工作介质采用特定切割的 1% 掺杂浓度的 Nd : YAG 板条,其结构如图 1 所示。针对 1064 nm 激光,板条底角为 33.5°。板条采用平行结构,这样可以降低端镜的对准灵敏度。为了使光束通过介质后得到均匀的增益,板条长度设计为使激光在介质内反射偶数次。如图 2 所示,激光束平行入射,平行出射。板条高度为 6 mm,宽度为 6 mm,中心长度为 70 mm。板条上表面镀泵浦光增透膜(AR),用来提高泵浦光的耦合效率。

3 调 Q 模块选择

调 Q 模块是决定激光脉冲输出的关键器件。它的性能直接影响激光脉冲的宽度、提取效率等。好的调 Q 模块,不仅插入损耗小,而且耐激光损伤阈值高,可以承受更高的激光峰值功率密度。调 Q 模块的加压速度也会影响脉冲的提取效率,进而影响激光器的整体效率。调 Q 模块的加压速度越快,能量损失就越少,因而激光器效率就越高。因此,本文将选用加压速度更快的调 Q 模块。

激光器常用的电光晶体有 KDP、LN、RTP、BBO、LGS 等,晶体性能如表 1 所示^[6-10]。KDP 晶体消光比比较高,但潮解,需要光窗密封封装,影响晶体激光透过率;LN 晶体由于损伤阈值相对较低,但环境适应性较好;RTP、BBO、LGS 是新型电光晶体,主要用于高重频调 Q 激光器,价格比较昂贵,RTP 晶体需要配对使用,BBO 电光晶体电压较高,LGS 晶体尺寸较大,工艺生长技术不是很成熟。由于本方案采用板条增益介质,LN 横截面一般做成方形,非常

适用板条激光器调 Q,同时掺入损耗较小,虽然损伤阈值较低,采用掺杂 MgO,可以将损伤阈值提高一

倍以上,调 Q 电压比 KDP 偏低,因此本实验采用掺杂 LN 晶体。

表 1 常用电光晶体性能参数

晶体特性	KDP	LN	RTP	BBO	LGS
$V_{\lambda 1064/2}$	6340 V	9346 d/L V	2595 d/L V	53333 d/L V	16875 d/L V
损伤阈值	600 MW/cm ²	100 MW/cm ²	1800 MW/cm ²	5000 MW/cm ²	950 MW/cm ²
插入损耗	4%	1%	1%	2%	1.9%
消光比	1000 : 1	400 : 1	800 : 1	2000 : 1	~
可得尺寸	最大	较大	较小	较小	较大
是否潮解	是	否	否	是	否

4 1.06 μm 板条激光器试验结果分析

通过 LD 侧面泵浦板条和一级放大技术,实现高能量 1.06 μm 激光输出,在电源输入电流 120 A,调 Q 驱动频率 10 Hz 的条件下,获得 1.06 μm 激光的最高输出能量为 264 mJ。1.06 μm 输出能量与注入电流关系如图 3 所示。由图可以看出,随着注入电流的增大,1.06 μm 激光的输出能量线性增加。

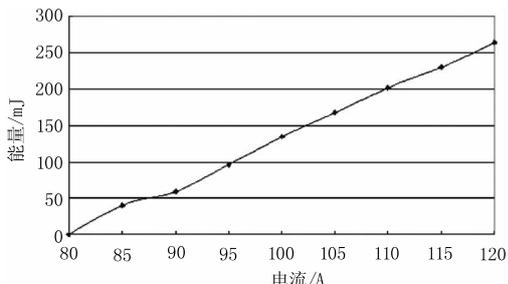


图 3 1.06 μm 输出能量与注入电流关系

Fig. 3 The relation of 1.06 μm output energy and input current

5 1.06 μm 倍频 KTP 试验及结果

在光路图 1 基础上,后放置倍频晶体采用 KTP,距输出镜的距离为 10 mm,用铝箔包裹侧面后放入铝块中制冷。产生的 532 nm 激光和剩余的 1064 nm 激光经过分束镜,反射输出为 532 nm 激光,直线输出为 1064 nm 激光,如图 4 所示。为了提高 1064 nm 基频光转换为绿光的效率,理论上应该把 KTP 晶体放置在基频光的束腰位置。在 1064 nm 基频光的振荡过程中,极化的基频光沿着晶体的光轴传输,为了得到最佳的倍频效率和避免二次谐波输出的绿光波动,非线性晶体 KTP 的放置应与偏振光轴成 45°角。实验发现基频光的温度控制对绿光输出的稳定性有很大的影响,但对绿光的输出功率

影响并不是很大。温度在 23 °C 比在 20 °C 输出的功率偏低,且稳定性较差。

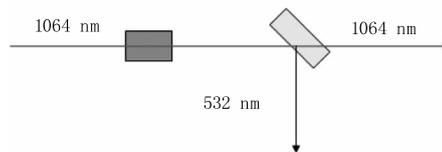


图 4 LD 侧面泵浦 532 nm 激光器试验装置图

Fig. 4 LD pump 532 nm laser experiment setup

经过 KTP 倍频变换实现 532 nm 激光输出,采用外腔频率变换,在电源输入电流 120 A,调 Q 驱动频率 10 Hz 的条件下,获得 532 nm 激光最高输出能量为 185 mJ,1064 nm 到 532 nm 转化效率为 70%。532 nm 输出能量与注入电流关系如图 5 所示,可以看出,随着注入电流的增大,532 nm 输出能量增大。

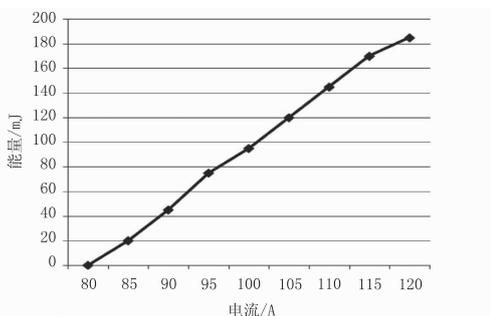


图 5 532 nm 输出能量与注入电流的关系曲线

Fig. 5 The curve of 532 nm output energy and input current

6 结论

首先利用 LN 电光调 Q 方式获得高能量 1.06 μm 激光输出。利用该 1.06 μm 激光作为泵浦源,采用外腔式变频技术对非线性晶体 KTP 进行频率变换,获得高能量 1.06 μm 激光输出。在电源输入电流 120 A,调 Q 驱动频率 10 Hz 的条件下,获

得 532 nm 激光最高输出能量为 185 mJ, 1064 nm 到 532 nm 转化效率为 70%。整个系统采用风冷方式, 结构紧凑、简单, 便于维护, 为下一步无液激光器工程化应用奠定基础。

参考文献:

- [1] Y C Chen, Shiqun Li, et al. Self-stabilized single-longitudinal-mode operation in a self-Q-switched Cr, Nd : YAG laser[J]. Optics Letters, 1993, 18(17) : 1418 - 1419.
- [2] WU Zhichao, LING Ming, WANG Fu, et al. High repetition electro-optical Q-switched Nd : YAP red laser[J]. Acta Photonica Sinica, 2010, 39(5) : 785 - 786. (in Chinese)
武志超, 凌铭, 王福, 等. 高重复电光调 Q Nd : YAP 红光激光器[J]. 光子学报, 2010, 39(5) : 785 - 786.
- [3] YANG Wenshi, YU Jicheng, LÜ Mingchun, et al. LD-pumped electro-optic Q-switching master oscillator lasers with pulse repetition rates 1 kHz[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(8) : 861 - 862. (in Chinese)
杨文是, 于继承, 吕明春, 等. 千赫兹二极管抽运 Nd : YAG 激光器[J]. 激光与红外, 2009, 39(8) : 861 - 862.
- [4] LIU Rong, LI Feng, BAI Jintao. Thermally insensitive LD pumped Nd : GdVO₄/KTP All-solid-state Green Laser [J]. Laser & Infrared, 2009, 28(4) : 379 - 382. (in Chinese with an English abstract)
刘蓉, 李锋, 白晋涛. 热效应不敏感的 Nd : GdVO₄/KTP 全固态绿光激光器设计[J]. 激光与红外, 2009, 28(4) : 379 - 382.
- [5] SHEN Zhaoguo, BAI Yang, WANG Ce, et al. LD end-pumped solid-state CW green laser with air and water hybrid cooling system [J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(4) : 708 - 710. (in Chinese)
沈兆国, 白杨, 王策, 等. 基于水、风混合型冷却系统的 LD 端面泵浦全固态连续绿光激光器[J]. 应用光学, 2009, 30(4) : 708 - 710.
- [6] GUO Zhen, WANG Shiyu, WEN Jianguo, et al. Q-switching technology of DPL with high repetition rate and short pulse duration[J]. Infrared and Laser Engineering. 2001, 30(5) : 286 - 288. (in Chinese)
郭振, 王石语, 文建国, 等. 高重复频率二极管泵浦激光器窄脉宽调制技术[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(5) : 286 - 288.
- [7] LI Wujun, WU Hao, YU Jintao. The experimental study of the LD pumped Nd ~ (3 +) : YAG passively Q-switched Laser [J]. Journal of Xi'an Technological University, 2010, 30(3) : 215 - 217. (in Chinese)
李武军, 吴昊, 于金涛. LD 泵浦 Nd ~ (3 +) : YAG 晶体被动调 Q 激光器的实验研究[J]. 西安工业大学学报, 2010, 30(3) : 215 - 217.
- [8] LIN Hongyi, TAN Huiming, CUI Tiecheng, et al. Widely tunable, high conversion efficiency, acousto-optic Q-switched Nd : YVO₄/PPMgLN optical parametric generator[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(2) : 155 - 157. (in Chinese)
林洪沂, 檀慧明, 崔铁成, 等. 宽调谐高效率声光调 Q Nd : YVO₄/PPMgLN 光学参量产生器[J]. 激光与红外, 2010, 40(2) : 155 - 157.
- [9] BAI Yang, LIU Peipei, SHEN Zhaoguo, et al. LD pulse side-pumped E-O Q-switched Nd : YAG UV laser with short pulse width at low repetition rate[J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(7) : 1617 - 1620. (in Chinese)
白杨, 刘沛沛, 沈兆国, 等. LD 脉冲侧面泵浦 Nd : YAG 电光调 Q 低重复窄脉宽紫外激光器[J]. 光子学报, 2009, 38(7) : 1617 - 1620.
- [10] ZHAO Jia, DONG Lei, ZHUO Zhuang, et al. High-repetition! rate RTP electro! optic Q-switched Nd : YAG laser [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(4) : 647 - 649. (in Chinese)
赵佳, 董磊, 卓壮, 等. 高重复率 RTP 电光调 Q Nd : YAG 激光特性研究[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4) : 647 - 649.