文章编号:1002-2082(2009)06-1036-04

LD侧面泵浦电光调Q532 nm脉冲激光器

沈兆国[1,2]，白 杨[1,2]，宋东璠[1,2]，白晋涛[1,2]
(1. 西北大学 光子所，陕西 西安 710069；
2. 西北大学 陕西省全固态激光技术与应用研究工程中心，陕西 西安 710069)

摘 要：为了实现高可靠、窄脉宽、高峰值功率激光输出，采用侧面泵浦技术和电光调Q技术，设计出一种激光二极管侧面泵浦电光调Q全固态绿光激光器。采用结构简单、紧凑的平-平腔设计，其端镜和输出镜均为平面镜，获得较稳定的侧面泵浦Nd：YAG腔外倍频KTP脉冲绿光激光输出。当泵浦电流为120 A，重复频率为600 Hz时，获得脉冲绿光的最高输出平均功率为3.62 W，1 064 nm到532 nm的转换效率为15.3%，其脉宽为21 ns，峰值功率为300 kW，单脉冲能量为6.01 mJ。实验结果表明：该激光器稳定性可靠，输出激光脉宽较窄、峰值功率高。

关键词：LD侧面泵浦；调Q开关；倍频脉冲激光器
中图分类号：TN248.1 **文献标志码**：A

LD side-pumped electrooptical Q-switched pulse laser at 532 nm

SHEN Zhao-guo[1,2], BAI Yang[1,2], SONG Dong-fan[1,2], BAI Jin-tao[1,2]
(1. Institute of photonics & Photonic-Technology, Northwestern University, Xi'an 710069, China;
2. Shaanxi All-solid-state Laser Technology and Applied Research Center,
Northwestern University, Xi'an 710069, China)

Abstract: In order to achieve high reliability, narrow pulse width and high peak power laser output, an all-solid-state electrooptical Q-switched green laser with diode side pump was designed with the side-pumped and electrooptical Q-switched technology. The stable laser output of LD side-pumped Nd: YAG pulse green laser with extra-cavity frequency—doubled KTP was achieved by the simple and compact flat-flat cavity design. When the pump current is 120 A and repetition rate is 600 Hz, the highest pulse green output average power of 3.62 W, the conversion efficiency (from 1064 nm to 532 nm) of 15.3%, the pulse width of 21 ns, peak power of 300 kW, and single pulse energy of 6.01 mJ were achieved. Experimental results show that the stability of laser output is high, pulse width is relatively narrow, and peak power is high.

Key words: LD side-pumped laser; Q-switch; frequency-doubled pulse laser

引言

近几年来，国内利用激光二极管泵浦掺钕的YAG和YVO_4激光器经非线性晶体倍频产生绿光激光器的研究成为热点。高峰值功率、窄脉宽高光束质量的全固态激光器一直是激光技术领域中非常重要的研究方向。从对脉冲激光器研究情况来看，国内外都把研究的重点放在连续激光器或高重复率声光的准连续激光器上，而窄脉宽、高峰值功率LD侧面电光调Q高功率脉冲激光器研究较少[1-5]。激光二极管泵浦全固态激光器采用侧面泵

收稿日期：2009-04-27； **修回日期**：2009-06-22
基金项目：西北大学研究生科研实验资助(08YSY15)
作者简介：沈兆国(1981—)，男，山东临沂人，硕士研究生，主要从事激光器件与技术研究工作。E-mail：shuiyuehun@qq.com

浦技术是实现高输出功率的重要方法,电光调Q技术是实现窄脉宽、高峰值功率脉冲激光的关键技术,将两种技术结合,则可实现高可靠、窄脉宽、高峰值功率激光器。

1　LD侧面泵浦1 064 nm脉冲激光器研究

1.1　脉冲激光器最佳透射率确定

Nd:YAG四能级系统脉冲激光器最佳透过率数学表达式[6]为

$$T_m=\beta[(E_{in}/E_{th}^0)^{1/2}-1] \tag{1}$$

式中:β为谐振腔损耗;E_{in}为注入泵浦能量;E_{th}^0为$T=0$时工作物质吸收的泵浦能量,通过数学软件作图,令$x=E_{in}/E_{th}^0$,$y=\beta$,$z=T_m$,变化规律如图1所示。由(1)式和图1可以看出,最佳透射率与输入功率和阈值参量有关,输入功率越大则最佳透射率越大;阈值越小,则最佳透射率也越大。谐振腔损耗越大,则最佳透射率越大。工作物质L越大,损耗越大,则最佳透射率越大。实际工作中,常常依据实验来确定最佳透射率,即在一个输入功率下,改变输出镜透过率,测试其曲线峰值对应的透射率为最佳透射率。为提高效率,防止腔内功率密度过高,往往选择较高透过率,脉冲Nb:YAG器件输出最佳透过率一般为50%~85%。实验分别选取输出镜,对1 064 nm透过率分别为60%,75%,84%进行实验测试,60%输出镜功率变化相对稳定且输出功率最大,因此在该实验中选取60%作为最佳输出镜。

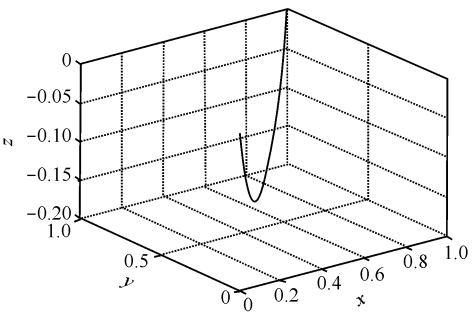

图1　最佳透射率变化关系曲线

Fig. 1　Curve of optimal transmittance

1.2　1 064 nm基频光脉冲激光器实验

实验采用传统直腔,在激光工作物质两端安放2个介质反射膜片构成固体激光器的谐振腔。要使激光器正常工作,必须将两介质膜片及激光工作物质调到共轴。准直光源采用630 nm LD代替传统的He-Ne激光器,具有体积小、调节方便、光强可调等优点。泵浦源采用目前比较成熟的半导体激光侧面泵浦脉冲输出模块。激光增益介质为Nd:YAG棒,其尺寸$\varphi=3$ mm×70 mm,棒侧面打毛,两端面镀有1 064 nm增透膜。对泵浦模块进行循环液体冷却(蒸馏水),冷却器采用专用激光冷却机,实验过程中精确控制Nd:YAG温度,冷却水温设置在23℃。液体冷却方式能够对高功率泵浦所造成激光晶体热效应起到有效散热作用,因此可以提高激光器输出功率稳定性和优异光束质量。模块电源电压上限48 V,电流上限120 A,输出脉宽上限250 μs,下限100 μs。采用性价比高的KD*P作纵向加压电光晶体,用电源内置脉冲频率调制器控制频率在1~1 000 Hz可调。晶体电源与激光电源通过控制电路实现信号同步运转。采用具有结构简单紧凑、激光模体积大和输出功率大等优点的传统直腔结构。M_1直腔端镜,外侧面不镀膜但在靠近电光晶体内侧镀有1 064 nm全反膜;平面镜M_2为1 064 nm输出镜,其最佳透过率为60%。激光晶体Nd:YAG和电光晶体KD*P插入布诺斯特窗片,且腔内电光晶体紧靠端镜放置,可能实现所有元件尽量紧凑,使腔尽量短,有利于开关有效稳定有序地关断,进而实现窄脉宽、高峰值功率、高稳定、高质量激光输出。在泵浦电流120 A,重复频率600 Hz时,M_1为平面镜,$L_1=210$ mm,获得平均功率最大为23.6 W的1 064 nm近红外激光输出。1 064 nm脉冲激光器实验装置图如图2所示。

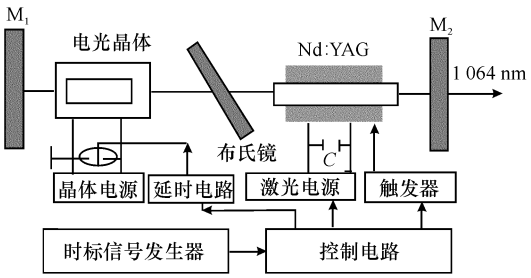

图2　1 064 nm脉冲激光器实验装置图

Fig. 2　Experimental setup of 1 064 nm pulse laser

2　532 nm绿光脉冲激光器的实验研究

2.1　532 nm绿光脉冲激光器的实验

实验装置与1 064 nm基频光调Q脉冲激光器一致,只是在腔外M1镜后加倍频晶体KTP,其尺寸为4 mm×4 mm×12 mm,II类临界相位匹配$\theta=90°$,$\varphi=24.4°$,两面镀有1 064 nm和532 nm增透膜,要尽量让准直光通过倍频晶体的中心,将其固定在输出镜的后面,紧贴输出镜。晶体用铟箔包裹后放置于水冷铝块中制冷。为了使倍频光与基频光

分开,采用镀有绿光高反膜、1 064 nm 增透膜 M_3 镜,M_3 镜以尽量小角度放置,将绿光分出。按照前面提到的步骤调节动态激光直到光斑均匀圆整,之后可用像纸的背面接受动态激光,若没有发现强点,则可以加装非线性晶体(防止高功率下损坏倍频晶体)。然后,关闭激光输出,加入倍频晶体 KTP,调整晶体的位置,打开半导体准直光源,使红光正好通过晶体的中心且倍频晶体前后 2 个面的反射像都要返回小孔光栏,之后锁紧晶体的光具座,关闭半导体准直光源。再次打开激光(静态)可发现原来要依靠上转换片才能看见的1 064 nm 红外光变成了可以肉眼可见的绿光。

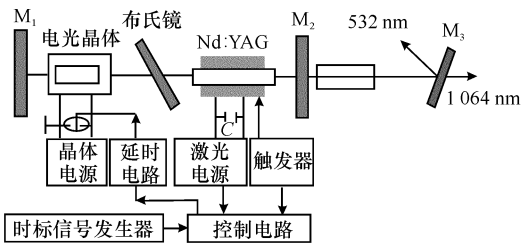

图 3　532 nm 脉冲激光器实验装置图

Fig. 3　Experimental setup of 532 nm pulse laser

2.2　532 nm 绿光脉冲激光器实验结果及分析

用美国相干公司的 FieldMax-TOP 型号功率计测量绿光输出功率,输出功率随注入电流变化曲线如图 4 所示,通过该图可以看出,在 600 Hz 重复率下,输出功率随泵浦电流的增大而增大;在 120 A 的泵浦电流下,重复频率 600 Hz 时,获得腔外倍频最大平均功率3.62 W 的532 nm 绿光输出,1 064 nm 到532 nm 的转换效率为15.3%,单脉冲能量6.01 mJ,脉宽21 ns,峰值功率300 kW。实验中还进行腔内倍频实验,发现腔外倍频效率低于腔内倍频效率,但由于腔内倍频时采用60%输出镜,大部分的1064nm基频光已经输出,所以导致效率比较低,若更换输出率,较低输出镜会导致腔内基频光功率密度提高,倍频光功率加大,但因脉冲激光器峰值功率超过上千瓦对晶体及表面有损伤,因此电光调Q 脉冲激光器很少采用腔内倍频。532 nm 脉冲宽度波形与实验所拍摄到的绿光光斑分别如图 5 和图 6 所示。

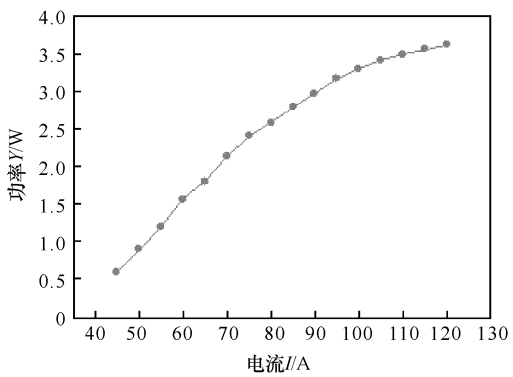

图 4　泵浦电流与功率关系

Fig. 4　Pump current versus power

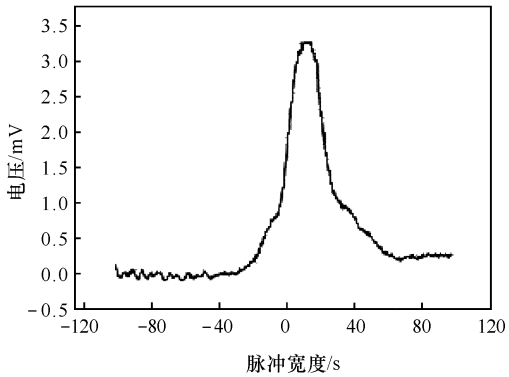

图 5　532 nm 脉冲宽度波形

Fig. 5　Waveform of 532 nm pulse width

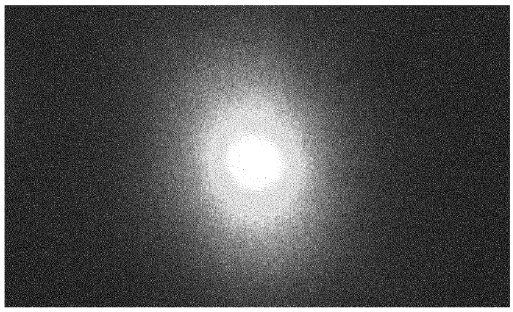

图 6　实验所拍摄到绿光光斑

Fig. 6　Green spot taken in experiment

3　结论

采用LD 侧面泵浦和电光调Q 技术,获得高功率、窄脉宽、低重复频率532 nm 绿光激光输出。采用Ⅱ类KTP 晶体临界相位匹配进行腔外倍频和电光晶体 KD^*P 进行调Q,在电光调Q 重复频率600 Hz 时,获得最大平均功率 3.62 W 的 532 nm 绿光输出,单脉冲能量6.01 mJ,脉宽21 ns,峰值功率300 kW,为后续四倍频与和频实验奠定基础。

参考文献:

[1]　SRINIVASAN-RAO T, FISCHER J, TSANG T. Photoemission from Mg irradiated by short pulse ultraviolet and visible lasers[J]. Appl. Phys., 1995, 77(3):1275-1279.

[2]　ZHANG Hong-rui, CHAO Ming-ju, GAO Ming-yi, et al. High power diode single-end-pumped Nd :

YVO_4 laser[J]. Optics & Laser Technology, 2003, 35(6):445-449.

[3] ZELLER P, PEUSER P, Efficient, multiwatt. continuous wave operation of Nd : YAG and Nd : YVO_4 [J]. Opt. Lett., 2005, 25(1):34-36.

[4] BAIYang, LI Long, CHEN Hao-wei, et al. Continuous-wave green laser of 9.9 W by intracavity frequency dou-bling in laser-diode single-end-pumped Nd : YVO_4/LBO [J]. Chinese Physics Letters, 2004, 21(8):1532-1534.

[5] BIENFANG J C, DENMAN C A, GRIME B W, et al. 20 W of continuous-wave sodium D2 resonance radiation from sum-frequency generation with injection- locked lasers [J]. Opt. Lett., 2003, 28 (22):2219-2221.

[6] 李适民. 激光器件原理与技术[M]. 第一版. 北京:国防工业出版社, 1998.
LI Shi-min. The principle and technique of laser devices [M]. 1st ed. Beijing: National Defense Industry Press, 1998. (in Chinese)