

文章编号: 0258-7025(2006)07-0882-07

双控声光调 Q 全固态红外激光器

潘志文¹, 霍玉晶², 梁 喆², 何淑芳²

(¹ 深圳大学师范学院, 广东 深圳 518060; ² 清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要 研制出双控声光调 Q 全固态红外激光器。应用专门研制的双控驱动器, 代替普通声光调 Q 全固态红外激光器中独立的激光二极管(LD)驱动器和声光 Q 开关驱动器。在双控驱动器中, 抽运源激光二极管和 Q 开关都工作在与输出激光脉冲相同重复频率的间断工作状态。在每一个周期中, 激光二极管在输出激光脉冲前的某一时刻打开, 在输出脉冲后的适当时刻关断。声光 Q 开关在激光二极管打开前的某一时刻开始工作, 在激光二极管关闭后的某一时刻停止工作。与普通声光调 Q 全固态激光器相比, 在输出激光脉冲重复频率相同的情况下, 双控驱动全固态红外激光器能耗减少 50% 以上, 主要部件温升减少 10 °C 以上, 达到热稳定的时间减少到 23%, 用 1 W 的激光二极管抽运, 得到了脉宽 16.8 ns, 峰值功率 4 kW 的无寄生脉冲的激光输出。

关键词 全固态激光器; 脉冲激光器; 双控驱动器; 激光二极管抽运; 声光调 Q

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Double-Control Acousto-Optic Q-Switched All-Solid-State Infrared Laser

PAN Zhi-wen¹, HUO Yu-jing², LIANG Zhe², HE Shu-fang²

(¹ Normal College, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)
(² Department of Electronics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract A new type of double-control acousto-optic (A-O) Q-switched all solid state laser has been developed. A special home-made double-control driver, instead of a laser diode (LD) driver and an unattached A-O Q-switcher driver as used in the normal A-O Q-switched solid-state lasers, is used in the laser. In the double-control driver, both LD and the A-O Q-switcher work periodically at the same repetition rate as the output laser pulses. In each period, LD lights in advance of the time of the output laser pulse occurrence and quenches behind the laser pulse. At the same period, A-O Q-switcher starts working before LD and stops working behind LD. The new type of solid state infrared laser has much better performance in compare with the normal A-O Q-switched solid-state lasers at the same repetition rates: electric power saving more than 50%, temperature rising at main parts of the laser set dropping down with more than 10 °C, time taken for thermally stable state being reduced to 23%. Pumped by a 1 W LD, the non-spurious output pulses with peak power of about 4 kW and width of 16.8 ns are obtained.

Key words all-solid-state laser; pulsed laser; double-control driver; laser diode pumped; acousto-optic Q-switch

1 引 言

近年来, 激光二极管(LD)抽运的全固态激光器由于体积小、寿命长、效率高等优点而成为国内外研究的热点^[1~6]。本课题组曾对用于激光测距的激光二极管抽运声光调 Q 全固态脉冲激光器作了深入的研究^[1,4,5], 并为抑制此类激光器的激光脉冲前后

的寄生脉冲, 提出并研制了同步抽运驱动器, 有效地消除了这两种寄生脉冲。由于激光测距对节省能源、减少热稳定时间提出较高的要求, 本课题组又研制了双控全固态声光调 Q 激光器, 即对激光二极管和声光 Q 开关的工作状态同时进行控制的全固态激光器。本文给出双控全固态激光器的实验结果。

收稿日期: 2006-02-22; 收到修改稿日期: 2006-05-09

基金项目: 高功率半导体激光国防科技重点实验室项目(51456050103JW0103)资助课题。

作者简介: 潘志文(1946—), 男, 广东兴宁市人, 深圳大学师范学院高级工程师, 主要从事激光及其应用方面的研究。

E-mail: panzw@szu.edu.cn

2 双控声光调 Q 全固态脉冲激光器的工作原理

图 1 是普通声光调 Q 全固态激光器和双控声光调 Q 全固态激光器中各有关脉冲的时序对照图。图 1(a), (b), (c) 分别为普通声光调 Q 全固态激光器驱动器(简称“普通驱动器”或“连续驱动器”)提供给激光二极管的连续电流波形, 提供给 Q 开关的超声波(UAW)波形和激光器输出光脉冲波形的时序图。可以看到: 这种普通驱动器一直供给抽运源激光二极管连续稳定的电流(图 1(a)), 同时(如图 1

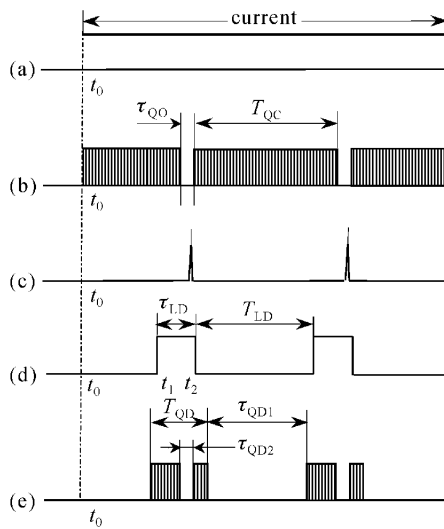


图 1 三种驱动器中的各种波形的时序关系图

(a) 声光调 Q 全固态激光器中激光二极管的运转电流; (b) 声光调 Q 全固态激光器中用于 Q 开关的超声波调制波形截面, Q 开关在长时段 T_{QC} 内关断, 在短时段 τ_{QO} 内打开; (c) 声光调 Q 全固态激光器的输出激光波形; (d) 双控调 Q 全固态激光器中的激光二极管驱动电流波形, 驱动器只在短时段 τ_{LD} 内向激光二极管供电; (e) 双控调 Q 全固态激光器中供给 Q 开关的超声波调制波形截面。驱动器只在短时段 T_{QD} 内产生超声波电流, 而在其中的 τ_{QD2} 和另一长时段 τ_{QD1} 内停止工作

Fig. 1 Time sequence relationship of various waveforms in the three kinds of power drivers

(a) LD operation current in A-O Q-switched solid-state laser; (b) profile of modulation ultra-acoustic wave (UAW) applied to the Q-switcher in A-O Q-switched solid-state laser. The Q-switcher is closed in the long duration T_{QC} and opened in the short duration τ_{QO} ; (c) output laser waveform in A-O Q-switched solid-state laser; (d) LD operation current waveform in the double-controlled Q-switched solid-state lasers. The driver provides current pass through LD only in short duration τ_{LD} ; (e) profile of modulation UAW applied to the Q-switcher in the double-controlled solid-state lasers. The driver generates UAW current only in the short duration T_{QD} and stops working in duration τ_{QD2} among T_{QD} and in the long duration τ_{QD1}

(b)所示)在相对较长的时间(T_{QC})内对声光 Q 开关提供超声波, 从而产生很大的腔内衍射损耗, 抑制激光产生, 而在相对很短的时间(τ_{QO})内中断向声光 Q 开关提供超声波, 从而使腔内衍射损耗降低, 产生激光脉冲(图 1(c))。所产生的激光脉冲的重复周期等于 Q 开关的周期。但是这种连续抽运的激光常常存在寄生激光脉冲^[5]。这些寄生脉冲出现在两种不同的时刻: 一种出现在声光 Q 开关的关断(不应产生激光)期间, 另一种出现在声光 Q 开关的打开(产生激光)期间。

针对这两种寄生脉冲, 采用提高声光 Q 开关的衍射效率和激光二极管同步抽运的工作方式有效地消除, 并提高激光器输出峰值功率。所谓同步抽运, 是指激光驱动器向激光二极管提供的工作电流不是连续的, 而是脉冲的, 即在比要产生激光脉冲时刻适当超前的时刻(如图 1(d)的 t_1)开始使激光二极管发光, 在激光脉冲形成后的适当时刻(如图 1(d)的 t_2)关断激光二极管。这种同步抽运工作方式由于只有在很短的时间内向激光二极管提供工作电流, 因此可以减少能量消耗, 降低激光二极管产生的热量。具有这种控制的驱动器称之为同步抽运驱动器。

但是, 不管是连续抽运, 还是同步抽运, 声光 Q 开关在关断期间都一直处于产生超声波高频振荡的状态, 只有在要求产生激光的控制信号脉冲到来且 Q 开关变为开启状态时(图 1(b)中的 τ_{QO})才停止高频振荡, 这将消耗很多能量, 并在器件内部产生多余热量, 降低激光器性能。为改进激光器性能, 研制出双同步控制声光调 Q 激光器。所谓双同步控制, 就是既周期性地控制激光二极管工作电流的开与关(即同步抽运, 如图 1(d)), 又周期性地控制驱动 Q 开关的超声波的开与关(简称“脉冲控制调 Q”, 如图 1(e)), 实现双同步控制。在这种工作方式中, 激光驱动器的控制信号使激光二极管工作在同步抽运方式下, 也就是使激光二极管仅在相对很短的时间(图 1(d)中的 t_1 至 t_2)内发出激光, 对激光工作介质进行抽运; 同时还使驱动器只在激光二极管对激光介质进行抽运之前不久的某一适当时刻开始, 至在激光二极管停止抽运以后的某一适当时刻停止的很短的时间(如图 1(e)的 T_{QD})内产生超声波以增大腔内衍射损耗; 并且在 T_{QD} 后的相对很长的时间(τ_{QD1})内停止产生超声波(由于在此期间激光二极管停止对激光介质进行抽运, 因此不会有激光脉冲产生), 一直到下一周期开始时再重复这个过程; 同

时还在 T_{QD} 期间内的一个更短的时间 (τ_{QD2}) 内停止产生超声波以降低腔内损耗产生激光脉冲。这里驱动器在相对很长时间(如图 1(e) 的 τ_{QD1}) 停止产生超声波与为了产生激光脉冲而使驱动器短暂(见图 1(e) 中的 τ_{QD2}) 停止产生超声波的作用是不同的,它的作用是减小器件能量损耗和器件内产生的热量。这里的同步控制是指对激光二极管和 Q 开关进行与输出激光脉冲重复频率相同的频率控制,而激光二极管和 Q 开关各自的起始和开关时刻是不同的。从图 1 可看出,在一个周期内的各种时刻按顺序为:Q 开关关断(即驱动器开始产生超声波振荡) → 激光二极管开始抽运 → Q 开关短暂开通(即停止超声波振荡),输出激光 → Q 开关关断(又开始产生超声波) → 激光二极管停止抽运 → Q 开关开通(即停止超声波振荡)。具有这种控制的驱动器称之为双控驱动器,并由此制成双控声光调 Q 全固态激光器。显然,双控声光调 Q 激光器比普通调 Q 激光器有两点改进:1) 激光二极管由“普通连续抽运”变成“同步抽运”;2) Q 开关由“普通连续调 Q”变成“脉冲控制调 Q”。双控声光调 Q 激光器同时具有同步抽运和脉冲控制声光调 Q 的优点。

图 2 为双控驱动器产生的超声波振荡和激光二极管电流控制脉冲的实际波形图。图中, Q 开关中的超声波振荡持续期(相当于图 1(e) 中的 T_{QD}) 约为 $884 \mu\text{s}$ (CH1, 即图 2 上部的黑色矩形图),在此期间, Q 开关有一约 $1.3 \mu\text{s}$ 左右短暂打开期(相当于图 1(e) 中的 τ_{QD2} , 在图 2 同一比例图中未能清晰地显示),激光二极管电流控制脉冲持续期(相当于图 1(d) 中的 τ_{LD}) 约为 $620 \mu\text{s}$ (CH2, 即图 2 下部的矩形波图),该图中,输出激光脉冲频率约为 500 Hz 。图 3 为 Q 开关短暂打开期的放大图(CH1, 图中上部黑色部分为 Q 开关中的超声波振荡持续期,中间有一

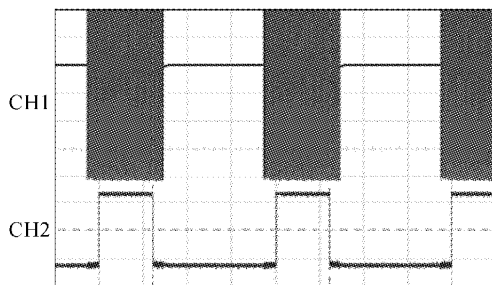


图 2 双控触发器中的 Q 开关高频振荡波形(CH1)和激光二极管控制脉冲波形(CH2)

Fig. 2 Waveforms of Q-switch oscillating (CH1) and LD control pulse (CH2) in the double-control driver

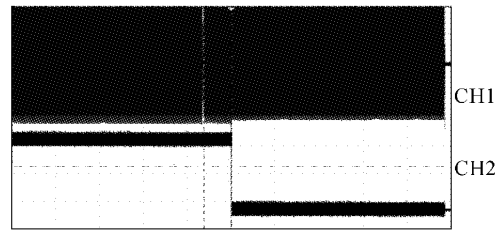


图 3 Q 开关振荡期内的瞬间打开(CH1)和激光二极管触发脉冲波形(CH2)

Fig. 3 Transitorily opened Q-switcher among oscillating period (CH1) and LD control pulses (CH2)

窄亮线为短暂打开期,相当于图 1(e) 中的 τ_{QD2} , 激光二极管驱动电流(CH2, 图 3 的下部两条水平粗黑线)在离 Q 开关短暂打开期的结束时刻约 $12 \mu\text{s}$ 时关断(图 3 中的下降沿, 相当于图 1(d) 中的 t_2 点)。

这种双控驱动器对于减小热稳定时间、减少能源消耗、减小电源和整机体积是非常有利的。

3 实验结果

图 4 是实验装置示意图。激光系统由抽运源 LD, 非球面聚光系统 FS, 激光介质 $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$ 及其上反射镜 M_1 , 声光 Q 开关 AO 和反射镜 M_2 组成。其中, 808 nm 激光二极管的功率为 1 W , 非球面聚光系统的焦距为 3 mm , M_1 直接镀在激光晶体的抽运端, 对 808 nm 光高透 ($T > 93\%$), 对 1064 nm 光高反 ($R > 99.7\%$); $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$ 晶体尺寸为 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$, Nd^{3+} 掺杂原子数分数为 3% ; 输出端反射镜 M_2 对 1064 nm 透射率 $T = 5\%$ 。双控驱动器 DCD 由激光二极管驱动器和 A-O 驱动器两部分组成: 激光二极管驱动器提供激光二极管电流及温度控制, A-O 驱动器除提供 Q 开关的超声波振荡外, 还同时向 Q 开关和激光二极管提供触发脉冲。激光输出经过滤光器 FLT 和分光镜 SP 后, 一路被光电接收器 PD1 探测并由示波器 OSC 显示

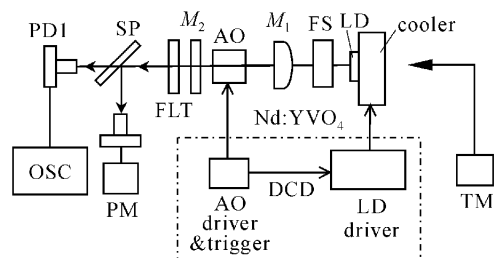


图 4 实验装置示意图

Fig. 4 Scheme diagram of experimental setup

激光脉冲波形,另一路由功率计 PM 测量功率。同时用数字温度计 TM 测量 Q 开关、激光器腔体和激光二极管的温度。

实验中主要研究:1) 在相同激光脉冲重复频率下,激光二极管连续抽运(如图 1(a))和同步抽运(如图 1(d))时激光性能的对比;连续调 Q(如图 1(b))和脉冲控制调 Q(如图 1(e))激光性能的对比;2) 双控驱动器与普通驱动器电功率消耗对比;3) 激光器的热稳定时间。

3.1 双控激光器输出激光的功率和脉宽

实验中激光脉冲重复频率采用200,400,600和

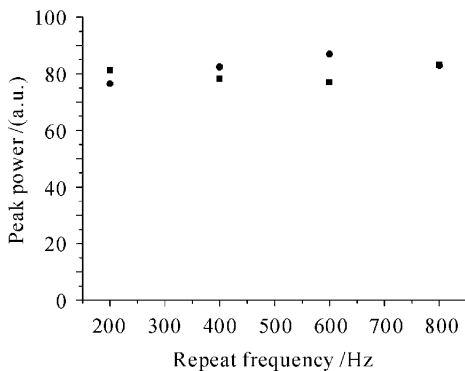


图 5 红外激光脉冲的峰值功率对比:激光二极管同步抽运(●)和连续抽运(■)

Fig. 5 Infrared laser pulses' peak power versus repeat frequency

●: using synchronously-pump driver and driving conditions are as shown in Fig. 1(d) and Fig. 1(b); ■: using continuous-pump driver and driving conditions are as shown in Fig. 1(a) and Fig. 1(b)

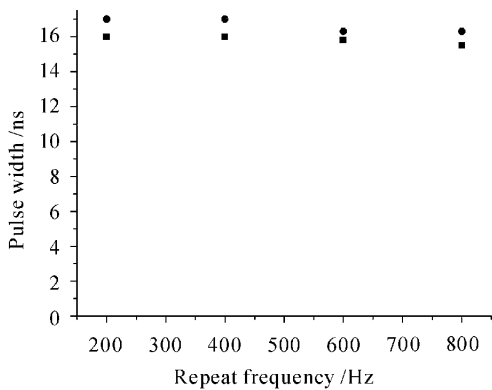


图 6 红外激光脉宽对比:激光二极管同步抽运(●)和连续抽运(■)

Fig. 6 Infrared laser pulses' width versus repeat frequency

●: using synchronously-pump driver and driving conditions are as shown in Fig. 1(d) and Fig. 1(b); ■: using continuous-pump driver and driving conditions are as shown in Fig. 1(a) and Fig. 1(b)

800 Hz,实验结果如下:图 5 是不同激光脉冲重复频率下,激光二极管连续抽运和同步抽运时输出激光脉冲峰值相对值对比。图 6 为相同的激光脉冲重复频率下,激光二极管连续抽运和同步抽运时的输出激光脉宽对比。图 7 为在激光二极管连续抽运下,连续调 Q 和脉冲控制调 Q 时输出脉冲峰值功率相对值对比,图 8 为在激光二极管连续抽运下,连续调 Q 和脉冲控制调 Q 时输出激光脉宽的对比。可以看出,同步抽运和脉冲控制调 Q 与普通驱动器对

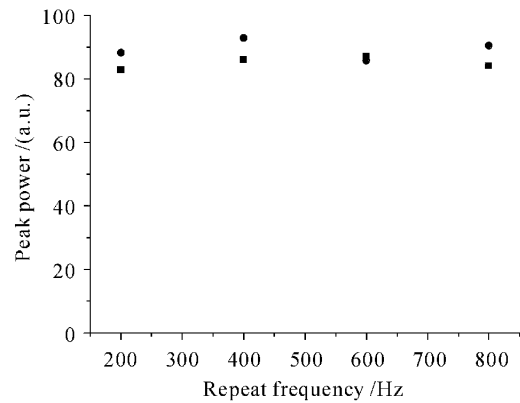


图 7 红外激光脉冲的峰值功率对比

●: 脉冲控制调 Q(如图 1(e)); ■: 连续调 Q(如图 1(b))

Fig. 7 Output infrared pulses' peak power versus repeat frequency

●: using periodically pausing Q-switcher and driving conditions are as shown in Fig. 1(a) and Fig. 1(e); ■: using continuously oscillating Q-switcher and driving conditions are as shown in Fig. 1(a) and Fig. 1(b)

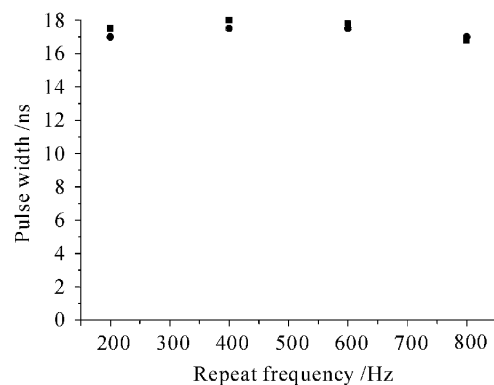


图 8 红外激光脉宽对比

●: 脉冲控制调 Q(如图 1(e)); ■: 连续调 Q(如图 1(b))

Fig. 8 Output infrared pulses' width versus repeat frequency

●: using periodically pausing Q-switcher and driving conditions are as shown in Fig. 1(a) and Fig. 1(e); ■: using continuously oscillating Q-switcher and driving conditions are as shown in Fig. 1(a) and Fig. 1(b)

比,其输出激光的功率和脉宽都没有大的影响。但是同步抽运比连续抽运的激光脉冲波形有明显的改善,消除了主脉冲前后的多余脉冲^[5]。在双控驱动情况下,用1 W激光二极管抽运,得到了脉宽16.8 ns,峰值功率4 kW的无寄生脉冲的激光输出(重复频率为800 Hz),图9为其波形图。

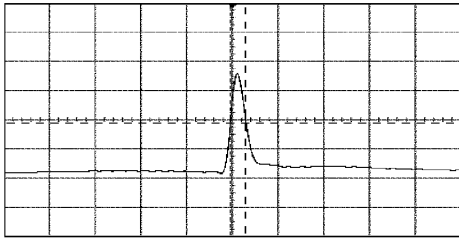


图9 双控激光器输出的脉宽为16.8 ns红外激光脉冲
Fig.9 Double-control laser's output infrared laser pulse with the width of 16.8 ns

3.2 双控驱动器与普通驱动器电功率消耗对比

表1列出了当激光二极管电流最大值为1150 mA,对应不同激光脉冲重复频率时激光二极管的实际平均电流,和同步抽运(如图1(d))相对于普通连续抽运(如图1(a))激光二极管消耗的电功率比例。从表中可以看出,在同步抽运情况下,激光二极管消耗功率只占原连续抽运时消耗功率的一半以下。所占比例与所需激光重复频率有关,当频率较低时(激光测距时常常是这种情况),例如,200 Hz,可节省功率90%左右,这对制作便携式激光器是非常有利的。

表1 同步抽运相对于普通连续抽运激光二极管消耗的电功率比例

Table 1 Comparison between the consumed powers of LD in the case using synchronously-pump driver (SPD) and normal driver (ND)

Repetition rate / Hz	LD average current <i>I</i> (using SPD) / mA	LD current <i>I</i> (using ND) / mA	LD consumed power ratio (SPD/ND) / (%)
200	147	1150	12.8
400	290	1150	25.2
600	441	1150	38.3
800	585	1150	50.9

表2列出了Q开关电源在脉冲控制调Q(如图1(e))和普通连续调Q(如图1(b))时的Q开关消耗的电功率对比。从表中可以看出,脉冲控制调Q时

电功率可节省30%~45%。

表2 脉冲控制调Q和普通连续调Q时的Q开关消耗的电功率对比

Table 2 Comparison between the consumed powers of the Q-switcher in the case using periodically pausing Q-switcher (PPQS) and continuously oscillating Q-switcher (COQS)

Repetition rate / Hz	PPQS average current <i>I</i> / A	COQS average current <i>I</i> / A	Q-switcher consumed power ratio (PPQS/COQS) / (%)
200	0.50	0.9	55.5
400	0.52	0.9	57.8
600	0.52	0.9	57.8
800	0.65	0.9	72.2

3.3 热稳定时间的改进

在相同的室温环境下对普通驱动器和双控驱动器两种情况下的激光器热性能进行了对比。在使用普通连续抽运驱动器时,激光二极管波形如图1(a),Q开关超声波轮廓如图1(b)。使用双控驱动器时,激光二极管波形如图1(d),Q开关超声波轮廓如图1(e)。为了提高抽运效率,对实验用的抽运源激光二极管部分进行了恒温控制。对未加恒温控制的Q开关和腔体(参见图4)进行测温对比。实验在相同的室温环境(23℃)下进行多次对比测量,结果都有相同的规律,图10为对Q开关处(图4中的

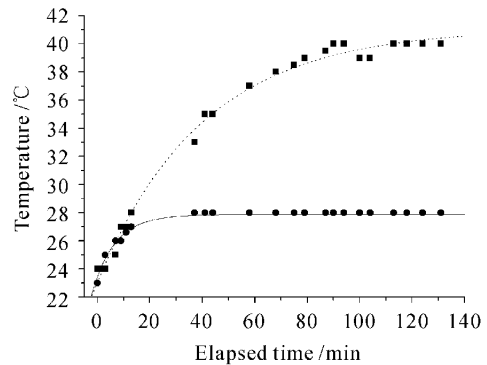


图10 A-O Q开关处的温度随时间的变化情况

●:用双控驱动器时的实测值;实线:用双控驱动器时的拟合曲线;■:用普通驱动器时的实测值;虚线:用普通驱动器时的拟合曲线

Fig.10 A-O Q-switch temperature varying with elapsed time

●: experimental data with double-control driver; solid line: fit curve for the data with double-control driver; ■: experimental data with normal driver; dashed line: fit curve for the data with normal driver

AO)温度的测量结果。应用双控驱动器时 Q 开关的温升比用连续驱动器的减少 10~12 °C。图 11 给出了两种情况下每分钟温升的曲线。对比由开机起计时至每分钟温升少于 0.1 °C 时所需的时间,由图 11 可看出,这段时间由原来的 61 min 减少为 14 min 左右。对腔体的测量也有类似的规律。因此这种双控驱动器大大缩短了激光器热稳定时间,也大大降低了对整体恒温的要求。这是由于采用了双控驱动器,抽运激光二极管和 Q 开关都处于间断工作状态,所以激光器温升和达到热稳定时间的情况得到了很大改善。

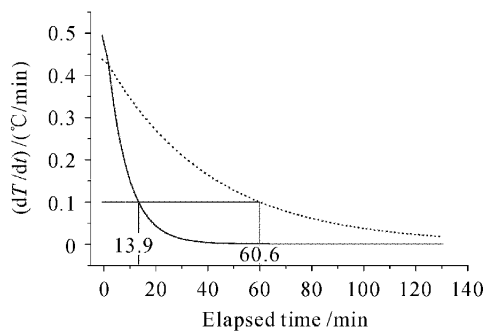


图 11 由图 10 得到的 Q 开关处的每分钟温升曲线
实线:用双控驱动器时的曲线;虚线:用普通驱动器时的曲线
Fig. 11 Temperature rising with respect to time
derived from Fig. 10

solid line; drawn for the data with double-controlled driver;
dashed line; drawn for the data with normal driver

4 分析及讨论

研制了双同步控制声光调 Q 全固态激光器,此类激光器既控制抽运源激光二极管的适时关断,又控制 Q 开关在相对较长时间内停止产生超声波,在激光输出特性参数保持不变的条件下,能源节省 30%~70%,温升减少 10 °C 以上,热稳定时间减少到 23%,同时器件消耗功率的减少使器件工作更加稳定。输出激光参数如下:用 1 W 激光二极管抽运 Nd:YVO₄ 激光晶体,得到了脉宽 16.8 ns,峰值功率 4 kW,重复频率为 800 Hz 的无寄生脉冲的激光输出,其他重复频率的峰值功率大致在 3.7~4.1 kW 之间,脉宽在 16.8~17.5 ns 之间,已能满足几千米测距的需要,如用更大功率的激光二极管,还可提高激光输出的峰值功率和测距范围。这种激光器可望在能源受限的场合得到广泛的应用。

双控驱动器与普通驱动器对比,输出激光参数基本保持不变,这可通过分析图 1(d)和(e)各时段

的作用来说明这一点。图中,真正对激光增益起决定性作用的是 τ_{LD} 的起点到 τ_{QD2} 的起点这一时段(下文简称 T_p 时段),在此时段中,激光二极管已开始抽运使激光介质不断积累上能级,而 Q 开关已产生高频振荡而使腔内损耗大于增益不产生激光。 T_p 时段的大小决定于两个因素:一是在这段时间里,激光二极管足以达到所需抽运功率,二是激光晶体足以积累上能级粒子数。前者由于已知激光二极管功率与电流成正比关系,注入电流与产生激光振荡之间的滞后时间为毫微秒量级。后者如考虑上能级最大有效储能时间则为几十微秒量级^[6],而产生节能和减少达到热稳定的时间效果的主要是由于时段 T_{LD} 和时段 τ_{QD1} 的存在。此两时段的大小约为几百微秒至毫秒量级(与所需脉冲重复频率有关),它们的存在不影响上述两个因素,因而不影响输出激光脉冲的峰值功率和脉宽。可见,所要求的激光重复频率越低,双控驱动激光器的节能和减少热稳定时间效果就越明显。

通过以上分析还可得到各时段的大致设计原则: T_p 时段要大于上能级最大有效储能时间,而此时间长短与 Nd 的浓度有关(1%原子数分数的 Nd:YVO₄ 的上能级寿命为 90 μ s),考虑到电路的延时, T_p 时段约为 100~120 μ s。时段 T_{LD} 和时段 τ_{QD1} 由所需激光重复频率决定。 τ_{QD2} 为 Q 开关短暂打开期,约为 1~2 μ s。激光二极管关闭相对于激光脉冲的滞后时间由实验决定,以不产生主脉冲之后的附加脉冲为准,一般在 10 μ s 量级。Q 开关振荡开始时间比激光二极管开始抽运的时间超前,结束振荡时间比激光二极管停止抽运的时间滞后,其超前和滞后的时间与腔结构和 Q 开关的具体电路反应时间有关,一般在微秒量级。

参 考 文 献

- 1 Feng Lichun, Huo Yujing, He Shufang *et al.*. LD-pumped acousto-optically Q-switched 532 nm laser with high repetition rate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(4):461~465
冯立春,霍玉晶,何淑芳等. 激光二极管抽运声光调 Q 高重复频率 532 nm 激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(4):461~465
- 2 Juan Du, Jingliang He, Jie Liu *et al.*. Q-switched mode-locked diode-pumped Nd:YVO₄ laser with a saturable Bragg reflector [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(5):275~277
- 3 Zhang Bingyuan, Chen Meng, Li Gang *et al.*. Study on diode-side-pumped mode-locked laser with semiconductor saturable absorber mirror [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(1):59~62
张丙元,陈 檬,李 港等. 激光二极管侧面抽运 Nd:YAG 锁模激光器的研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(1):59~62
- 4 Zhengping Wang, Lianke Sun, Shaojun Zhang *et al.*. Investigation of LD end-pumped Nd:YVO₄ crystals with various doping levels and lengths [J]. *Optics & Laser Technology*,

- 2001, **33**(1):47~51
- 5 Huo Yujing, Xiong Ke, Yang Chengwei *et al.*. A new type pulse laser in rangefinders [J]. *Laser & Infrared*, 2002, **32**(4):218~220
- 霍玉晶,熊 轲,杨成伟等. 测距仪中新型的脉冲激光光源[J]. *激光与红外*, 2002, **32**(4):218~220

- 6 Feng Lichun, Huo Yujing, He Shufang. Effective energy storage time in four-level Q-switched laser and application [J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2004, **19**(6):6~8
- 冯立春,霍玉晶,何淑芳. 调 Q 激光器有效储能时间及其应用[J]. *光电技术应用*, 2004, **19**(6):6~8

偏振光栅自成像效应

中国科学院上海光学精密机械研究所周常河课题组发现了高密度光栅的偏振自成像效应。该效应显示在光栅周期接近光波波长时,入射光偏振态的改变将导致不同的光栅自成像。

该所陆云清博士采用有限时域差分算法对光栅的近场分布进行计算,发现当光栅周期为2.5倍的光波波长时,偏振导致的光栅自成像的差别为最大。采用严格耦合波理论计算的远场分布有类似的偏振

依赖性。有限时域差分算法和严格耦合波理论得出类似的结论,从理论上证明了偏振光栅自成像效应的存在。

偏振依赖性是高密度光栅的一个基本属性,偏振光栅自成像是描述这种偏振依赖性的一个新的基本光学效应。据分析,此效应之前未曾被发现,可能由两个原因造成。从理论上讲,传统的标量衍射理论是无法解释这个偏振效应的;从实验上讲,传统的 CCD 探测器的像素尺寸大于高密度光栅的周期,无法看清高密度光栅的近场分布。此次实验采用 50~80 nm 开口的光纤探针,利用纳米精度扫描的近场光学扫描装置,成功观察到了偏振光栅自成像的不同。

高密度光栅的使用极其广泛,这一效应的发现对高密度光栅的使用有着重要的参考价值,对相关开发、利用和检测等具有实际意义,并有望进一步开发纳米光学领域的新器件与新技术。目前该工作完整的理论和实验内容将发表于 *J. Opt. Soc. Am. A* 2006 年 9 期杂志。

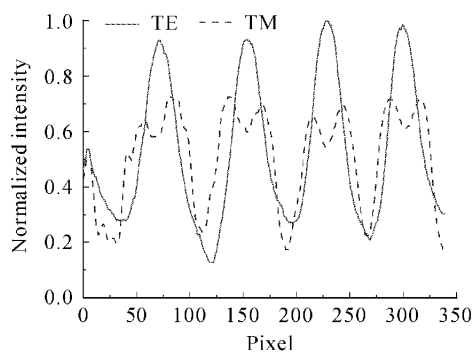


图 1 偏振光栅自成像的实验结果

采用的光栅 630 线/毫米,随着激光偏振方向的旋转(从 TE 到 TM),可以观察到光栅自成像明显发生变化

Fig.1 Experimental results of the polarization-dependent Talbot effect

The grating density is 630 lines/mm. As the incident laser is changed from TE to TM polarization mode, the self-imaging of the grating is obviously different

中国科学院上海光学精密机械研究所,
上海 201800
周常河,陆云清,王顺权,王 博
收稿日期:2006-06-27