

文章编号: 1007-5461(2003)02-0152-05

同步泵浦声光调 Q 全固态脉冲激光器

熊 轲, 杨成伟, 霍玉晶

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要 本文首次提出了同步泵浦声光调 Q 全固态脉冲激光器, 分析了其基本理论, 设计并实现了这种新型激光器。它克服了现有小型全固态脉冲激光器存在寄生多脉冲和峰值功率还不够高的缺点, 用 2W LD 的泵浦时, 得到了重复频率为 4.5 kHz、峰值功率为 6 kW、脉宽为 18 ns、无寄生脉冲的连续脉冲激光输出, 可以较好地满足激光测距和激光雷达对此类激光器性能的要求。本文对实验方案、设备和结果进行了详细的描述。

关键词 同步泵浦; 声光调 Q; 全固态激光器

中图分类号: TN248.1 **文献标识码**: A

1 引 言

全固态脉冲激光器和气体脉冲激光器及准分子脉冲激光器相比, 具有使用方便, 稳定度高等优点, 因而被广泛应用在信息处理、光盘技术、光谱技术和水下光通信、海底形貌测量、激光导航、医学和激光光谱学等技术领域。高性能全固态脉冲激光器在国防上和国民经济建设中, 特别是在激光测距和激光雷达中更有着重要的应用。现在全固态脉冲激光器正朝着高功率, 高频率, 高光束质量等方面发展。

我国在激光测距仪用的小型全固态脉冲激光器的研究中已经取得了很大进展, 研究出性能和国外同类产品相当的微型全固态脉冲激光器^[1,2]。但是现有的声光调 Q 脉冲激光器, 还存在一些缺点: 其一是峰值功率还不够高。由于所用的小型声光 Q 开关的衍射效率不够高, 国内研制的全固态脉冲激光器还不能充分利用大功率 LD 的优势以获得更高的输出功率。这导致用 2 W 的 LD 制作的脉冲激光器在 LD 功率仅为 1.5 W 时就达到最大输出功率; 此后 LD 功率的增加只是使输出激光脉冲展宽而不能增加其峰值功率。其二是存在寄生激光脉冲。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(激光器应当不工作)期间(如图 1 所示), 另一种出现在声光 Q 开关的打开(激光器工作)期间(如图 2 所示)。这些

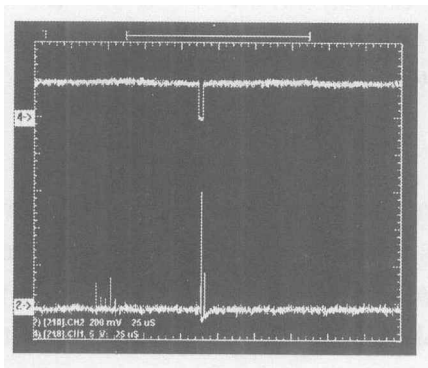


Fig.1 Sketch map 1 of parasitical pulse

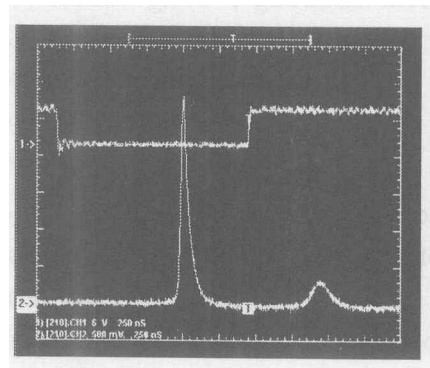


Fig.2 Sketch map 2 of parasitical pulse

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(批准号: 50132010)。

收稿日期: 2002-05-31; 修改日期: 2002-12-23

寄生脉冲将会造成测距仪的误判, 所以需要消除它们。为此我们提出同步泵浦结合声光调 Q 的方法, 消除这些寄生激光脉冲, 并提高此类激光器的性能。本文报道我们的研究结果。

2 理论分析

对于目前已有的全固态脉冲激光器, 一般采用 LD 连续泵浦。首先, 我们对两种寄生激光脉冲的产生原因进行分析。

我们认为: 在声光调制器关断期间 (激光器应当停止振荡) 产生寄生激光脉冲 (如图 1 所示) 的原因是声光调制器的衍射效率不够高, 腔内损耗低于激光增益, 不能阻止激光振荡, 从而产生这类寄生激光脉冲。其基本的解决办法是提高声光 Q 开关的衍射效率; 在声光调制器打开期间 (激光器应当振荡) 也可有寄生激光脉冲产生, 如图 2 所示。其现象是在激光主脉冲之后, 又出现小的脉冲, 此类寄生脉冲的产生主要是因为声光 Q 开关驱动电源的开关特性不好: 目前商品声光 Q 开关的打开和关断都需要近十个超声载波周期才能完成。在产生激光主脉冲之后到声光 Q 开关关断之前的期间, 由于 LD 仍然继续对激光晶体进行泵浦, 使激光增益可以超过腔内损耗从而导致这种寄生脉冲的产生。可以用提前关断声光 Q 开关的方法, 或用缩短声光 Q 开关打开时间的方法, 消除此类寄生激光脉冲的产生。但这样会降低输出激光脉冲的峰值功率。因此提高声光 Q 开关的开关速度是抑制此类寄生激光脉冲的一种有效的方法。另外, 激光脉冲的峰值功率可以由以下公式描述:

$$P_m = \frac{1}{2} h\nu_{21} N_m c S T$$

其中: P_m 为激光器输出峰值功率, S 为工作物质截面积, T 为输出反射镜透射率, N_m 为腔内最大光子数密度, c 为真空中的光速, h 为普朗克常量, ν_{21} 为激光频率。则可以知道激光脉冲的峰值功率主要决定于腔内最大光子数密度, 也就决定于激光谐振腔的储能, 这和泵浦强度以及声光 Q 开关的关断能力有关^[4]。

因此提高声光 Q 开关的衍射效率将能够有效地提高激光脉冲的峰值功率。因此本文采用改善声光 Q 开关的开关特性、提高声光 Q 开关衍射效率的方法和同步泵浦的工作方式, 以消除这些寄生激光脉冲, 并提高激光器输出功率。

具体措施是: 改进 LD 的驱动电路, 使 LD 脉冲工作, 以同步泵浦的工作方式抑制前述第二类寄生激光脉冲的产生; 增大声光 Q 开关的驱动器输出超声波的幅度以提高衍射效率, 改进其波形, 抑制声光调制器换能器的反压电效应以改善其开关特性, 从而抑制前述第一类寄生激光脉冲, 压窄激光脉冲前沿, 并提高输出激光脉冲功率。

同步泵浦的原理如图 3 所示。具体作法是: 根据激光脉冲产生的时刻, 对 LD 的泵浦和声光 Q 开关开闭的时刻及周期分别进行控制, 并对它们的相对位置进行调整。同步泵浦控制单元输出两路脉冲信号: 一路信号用于控制声光 Q 开关的开启和关断状态, 另一路控制 LD 的脉冲泵浦的开关状态。当 LD 的泵浦使激光介质粒子数充分反转后, 及时打开声光 Q 开关, 产生激光脉冲输出; 在主脉冲产生后的适当时刻关断 LD 泵浦。由于在主脉冲产生后 LD 已经及时地停止泵浦, 防止了反转粒子的继续积累, 从而能够有效地抑制在声光 Q 开关打开时期后

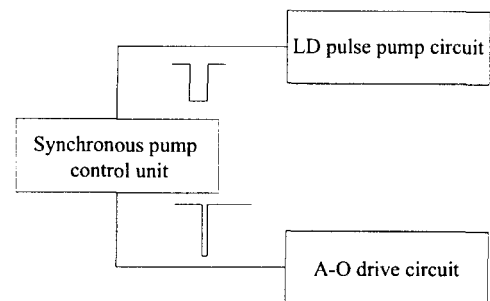


Fig.3 Block diagram of synchronous pump

续寄生激光脉冲的产生。

3 实验方案

3.1 激光器总体方案

根据以上的理论分析，设计出激光器的总体实验方案，如图 4 所示。

各元件参数如下：

LD, 波长为 808.5 nm , 有源区为 $100\ \mu\text{m}\times 1\ \mu\text{m}$, 连续输出最大功率为 2 W; 非球面聚焦系统的焦距 $f = 3\ \text{mm}$; 激光晶体为 a 轴切割的 $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$ 晶体, Nd^{3+} 掺杂浓度 3at% , 大小为 $3\ \text{mm}\times 3\ \text{mm}\times 1\ \text{mm}$, 透光方向长 1 mm ; 泵浦端反射镜 M_i 对 808.5 nm 高透, 透过率 $T > 93\%$, 对 1064 nm 高反, 反射率 $R > 99.7\%$; 输出端反射镜 M_o 对 1064 nm 透射率 $T = 5\%$.

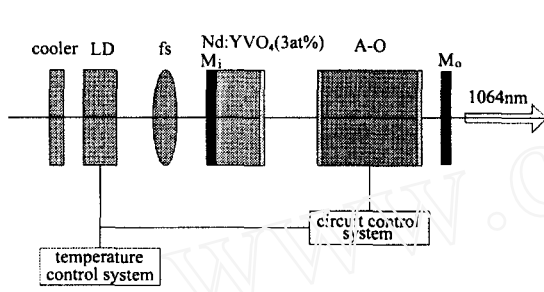


Fig.4 Block diagram of laser

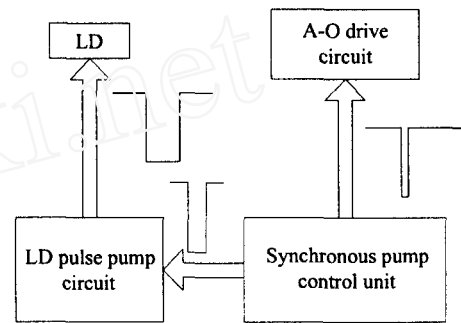


Fig.5 Block diagram of circuit

3.2 驱动电路方案

根据以上激光器总体方案的需要，我们设计了激光器的驱动电路。它主要包括三个部分：LD 脉冲泵浦的驱动电路，同步控制电路和声光 Q 开关的驱动电路。其电路原理如图 5 所示，各部分的数据为：

LD 的脉冲泵浦电路提供给 LD 稳定的泵浦电流，从 0~2 A 可以连续调节；用外部信号控制 LD, 使它可以在连续或脉冲两种状态。

同步控制单元电路提供了两路脉冲信号：一路用于控制声光 Q 开关的关断或开启，另一路控制 LD 泵浦功率的关断和开启。脉冲信号的工作频率可在 50 Hz~30 kHz 范围内连续调节，其宽度可以在 10 ns~150 μs 范围内连续可调；控制 LD 工作的方波信号的占空比可以在 5%~95% 范围内连续调节；两路脉冲信号的相对延时也可以调节。

图 6 是声光 Q 开关驱动器电路的方框图，各部分主要功能如下：

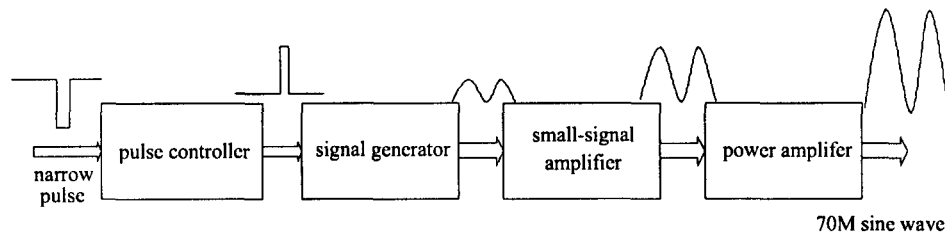


Fig.6 Block diagram of A-O Q-switched driver circuit

脉冲控制单元，接受外部输入的窄脉冲信号，该信号来自于 LD 同步泵浦控制单元的窄脉冲信号。信号发生单元，使用 70 MHz 晶振，产生 70 MHz 的正弦波信号。小信号放大单元，高频三极管为核心的放大电路。功率放大单元，使输出功率达到几 W 的量级。整个电路采用模块化设计，可以有效地提高电路的

稳定性和抗干扰能力。

并且, 该驱动器具有良好的开关特性, 如图 7 所示, CH1 是控制声光 Q 开关打开关断的窄脉冲, CH2 是声光 Q 开关驱动器输出的 70 MHz 正弦波形。可见, 声光 Q 开关驱动器的输出波形开关都只需要几个 (< 4) 个周期的时间, 具有良好的开关特性。

4 实验结果

在使用商用声光 Q 开关的驱动器, 并使 LD 连续泵浦时, 激光脉冲输出的波形如前图 1 与图 2 所示: 在声光调制器关断期间有许多小的寄生激光脉冲发生, 并且在声光 Q 开关打开期间、在激光主脉冲之后也有寄生激光脉冲发生。实验中, 声光 Q 开关调制频率为 4.5 kHz。

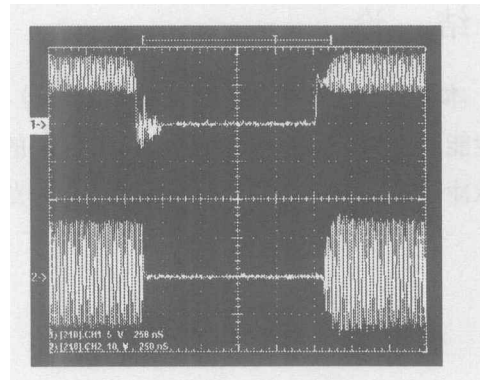


Fig.7 Output waveform of A-O Q-switched driver

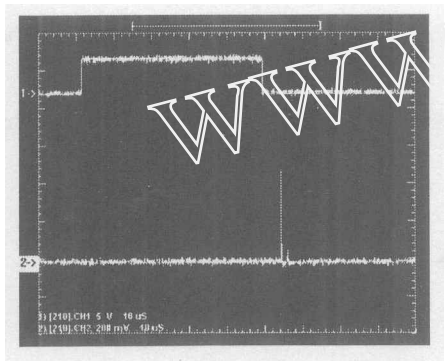


Fig.8 Laser pulse when using our A-O drive circuit

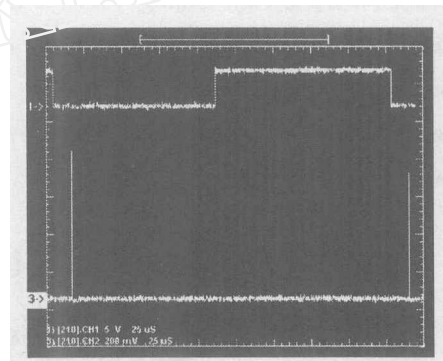


Fig.9 Laser pulse when using LD synchronous pump

在用 LD 进行连续泵浦时, 用我们自制的声光 Q 开关的驱动器, 提高了其输出超声波的强度, 从而提高了它的衍射效率, 抑制了声光 Q 开关的关断期间的寄生脉冲。此时得到的激光脉冲的波形如图 8 所示。图中, CH1 信号为控制声光 Q 开关的方波信号, CH2 为激光脉冲信号。可以看到声光 Q 开关的关断期间的寄生脉冲已经被抑制, 但在声光 Q 开关的开启期间内、主激光脉冲后还有小的寄生脉冲。

使 LD 对激光晶体进行脉冲泵浦, 并使其停止泵浦的时刻逐渐地前移到适当时刻, 使得 LD 泵浦在主激光脉冲输出后立即停止, 从而抑制了在声光 Q 开关的开启期间内、主激光脉冲后的寄生脉冲的产生。使用 LD 进行同步脉冲泵浦、配合使用我们自制的提高声光 Q 开关衍射效率的驱动电路, 得到的输出激光脉冲波形如图 9 所示。可以看到两种寄生激光脉冲都被抑制掉了。图中, CH1 信号为控制 LD 脉冲泵浦的方波信号, CH2 为激光脉冲信号。同时从图 9 中还可以看到, 由于我们自制的声光 Q 开关的开关速度提高, 仅在其输出超声波的 3—4 个周期内完成开关动作, 因而所得到的激光脉冲的峰值功率也有较大的提高。

此时 LD 脉冲泵浦宽度为 $114 \mu\text{s}$, 其控制电信号脉冲后沿和主激光脉冲之间的延时为 $12 \mu\text{s}$ 。在 LD 输出功率为 2 W 时, 得到了重复频率为 4.5 kHz, 峰值功率为 6 kW, 脉宽为 18 ns, 无寄生脉冲发生的连续的激光脉冲输出。

5 结 论

本文提出并实现了同步泵浦声光调 Q 的全固态脉冲激光器, 此类器件可显著改进全固态脉冲激光器的性能, 获得高质量的激光脉冲. 用 2 W 的 LD 泵浦, 得到了 4.5 kHz, 脉宽 18 ns, 峰值功率 6 kW 的无寄生脉冲的连续激光输出. 此种新器件在激光测距、激光雷达和激光加工等领域有光明的应用前景.

参 考 文 献

- 1 Jin Jie *et al.* Laser-diode pumped all solid state small Nd:YAG laser with A-O Q -switching [C] // *14th National Conference on Lasers* (第十四届全国激光学术会议论文集) Beijing: 1999. 49 (in Chinese)
- 2 Huo Yujing *et al.* LD pumped A-O Q -switched 1.06 μm laser [C] // *14th National Conference on Lasers* (第十四届全国激光学术会议论文集), Beijing: 1999. 49 (in Chinese)
- 3 Dai Teli. *Laser-diode Pumped Solid State Lasers* (半导体二极管泵浦固体激光器) [M]. Sichuan University Publishing House, 1993. (in Chinese)
- 4 Zhou Bingkan, Gao Yizhi, Chen Jiahua. *Principle of Lasers* (激光原理) [M]. National Defence Industry Publishing House, 1995. (in Chinese)

Synchronous Pumped A-O Q -switched All Solid Pulse Laser

Xiong Ke, Yang Chengwei, Huo Yujing

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084 China)

Abstract The article puts forward the synchronous pump A-O Q -switched all solid-state pulse laser, analyzes the basic theory of it, designs and realizes this new type of pulse laser. The laser overcomes the faults of the parasitical laser pulse which exists now small all solid-state pulse laser and low power of laser pulse peak value. We have got the continuous output laser pulse without parasitical pulse, which is with the repeat frequency 4.5 kHz, the peak power value 6 kW, and the width of pulse 18 ns, by using 2 W LD pump. The laser, with higher peak power value and better laser pulse, can meet the demand of laser rangefinder and laser radar. The article describes in detail the experiment scheme, experiment device and experiment results.

Key words synchronous pump; A-O Q -switching; all solid-state laser

熊 轲 (1978 -), 北京清华大学电子系, 从事固体激光器方向的研究.