

调 Q 激光脉冲的腔内时间整形

郭小东 王世绩 顾 援

(中国工程物理研究院上海激光等离子体研究所, 上海 201800)

陈绍和 顾冠清 邓锡铭

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 在 Nd:YLF 单纵模激光器腔内调 Q 脉冲达到某个预定的强度之后, 腔内引入附加的损耗使腔内增益与损耗相平衡, 净增益为零, 这时腔内光强维持恒定, 激光器输出为准平顶时间整形调 Q 脉冲。

关键词 增益, 损耗, 时间整形脉冲。

1 引 言

高功率固体激光系统的前置级振荡器要求能输出多种脉宽的激光脉冲^[1]。其中皮秒量级脉冲由锁模激光器提供; 纳秒量级脉冲要求能从 1~5 ns 变化。提供 ns 级脉冲的方式是用一台单纵模激光器输出几十至几百纳秒的时间光滑长脉冲, 随后用普克尔盒开关从长脉冲中削出要求宽度的脉冲。国内“神光”高功率(LF12⁺)激光装置采用冷阴极闸流管产生驱动普克尔盒的高压电脉冲, 并且是采用光电触发方式, 因此, 如果激光脉冲幅度有起伏, 高压电脉冲的产生时间相对于激光脉冲峰值传输到普克尔盒的时间之间就会有相对时间抖动。对于 10% 的激光波动幅度, 时间抖动在几个纳秒至十几个纳秒范围。此外, 即使激光脉冲幅度是稳定的, 冷阴极管自身及其触发电路也有 1~2 ns 的抖动。削波开关的时间抖动将增大削出脉冲的幅度不稳定性。

减小削波开关时间抖动的影响的一个方法是: 用“方波”光脉冲代替常规高斯型光脉冲。作者利用普克尔盒、介质膜偏振片构成的光网络, 对 Nd:YLF 单纵模激光器的腔内 Q 值进行控制, 获得了稳定的平顶调 Q 激光脉冲。

2 原 理

根据文献[2]的思想, 对于 Nd:YLF 四能级系统, 调 Q 脉冲的建立过程可用下列方程组描述:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \left(\frac{\alpha L}{t_1} - \gamma \right) \Phi \quad (1)$$

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{\alpha L}{t_1} \phi \quad (2)$$

式中 ϕ 为激光谐振腔内的光子密度, α 为增益介质单位长度的光子数放大率, L 为增益介质的长度, αL 即表示单程增益, t_1 为光子在腔内的单程渡越时间, γ 为单位时间内光子在腔内的损耗百分数, 并且 $\gamma = 1/T$, T 为腔内光子平均寿命, N 为反转粒子数。 α 与 N 存在下面关系:

$$\alpha(t) = k \cdot N(t) \quad (3)$$

k 为比例常数。

激光器输出“方波”脉冲的条件是 $\frac{d\phi}{dt} = 0$, 根据(1)、(2)及(3)式得:

$$\gamma = \frac{kL}{t_1} N(t) = CN(t) \quad (4)$$

$C = kL/t_1$, 也是一常数。

在激光器腔内插入一个由普克尔盒与偏振片构成的反馈网络, 即形成一个腔内 Q 值调节开关^[3], 以便在调 Q 脉冲建立过程中引入附加的损耗, 产生一个随时间变化的 γ 。反馈网络可以类比成饱和吸收体, 其透过率为:

$$T_f = \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_{\lambda/4}} \right) \quad (5)$$

其中 $V_{\lambda/4}$ 为 KD*P 晶体的 1/4 波长电压, $V_{\lambda/4} \approx 4000$ V。

如果在调 Q 巨脉冲强度增长到某个预定值之后, 迅速在反馈网络上加上一个指数衰减电脉冲, 则腔内会突然出现一个随时间变化的损耗, 记该项损耗为 γ' , 则 γ' 的表达式为:

$$\gamma' = -\ln \left[\cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_{\lambda/4}} \right) \right] \quad (6)$$

这时腔内损耗为:

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_0 + \gamma' \quad (7)$$

γ_0 为输出损耗、散射损耗等; γ_0 为调 Q 开关的损耗。在实验中, 调 Q 元件是 LiF 色心晶体, 初始(漂白前)透过率为 40%。LiF 晶体漂白后处于低损耗状态, 调 Q 脉冲开始建立。在这里, 调 Q 脉冲脉宽为几十纳秒, 可以认为 LiF 晶体自调 Q 脉冲建立至脉冲建立结束一直处于低损耗状态, 损耗为 γ_0 。

显然, (7)式中只有 γ' 是时间函数。

令 $V = V_0 \exp(-t/\tau)$, 则 $\gamma = \gamma_0 + \gamma_0 - \ln \left\{ \cos^2 \left[\frac{\pi}{2} \frac{V_0}{V_{\lambda/4}} \exp(-t/\tau) \right] \right\}$, 在 $V_0 \ll V_{\lambda/4}$, $t \ll \tau$ 条件下

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_0 + \pi \frac{V_0}{V_{\lambda/4}} \left(1 - \frac{t}{\tau} \right) \quad (8)$$

在调 Q 脉冲建立阶段, $N(t)$ 近似为线性递减函数; 因此, 调节(8)式中的 V_0 、 τ 等参数, 使(4)、(8)两式近似成立, 激光器即输出“准平顶”脉冲。

将速率方程(1)、(2)作归一化处理得到

$$\frac{dn}{dt'} = -\frac{n}{n_i} \varphi \quad (9)$$

$$\frac{d\varphi}{dt'} = \left(\frac{n}{n_i} - 1 - \frac{\gamma'}{\gamma_i} \right) \varphi \quad (10)$$

其中, $n = N/N_0$, $\varphi = \phi/N_0$, $t' = t/T$ 及 $\gamma_i = N_0 k L n_i$, N_0 为激活粒子总数, n_i 为阈值反转粒子

数。

定义 $t = 0$ 时的初始反转粒子数为 n_i , 初始光子密度为 ϕ_i . 令 $n_i = 0.05$, $n_i = 0.075$, $\phi_i = 0.0001$, $\gamma_i = 0.1$, $\gamma' = -\ln [\cos^2 (\frac{\pi}{2} \frac{V_0}{V_{\lambda/4}} \exp (-t'/\tau))]$. 用计算机对(9)、(10)式进行数值求解, 模拟出调Q脉冲的时间演化过程. 当取 $V(t) = 458 \exp (-t'/35)$ 时, 得到图1的计算波形.

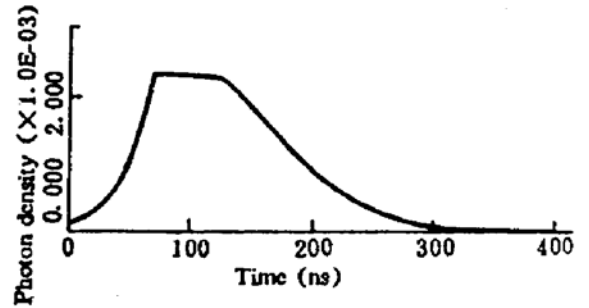


Fig. 1 Calculated pulse intensity vs. time with $V(t) = 458 \exp (-t'/35)$

3 实验装置和结果

实验装置示意图如图2所示.

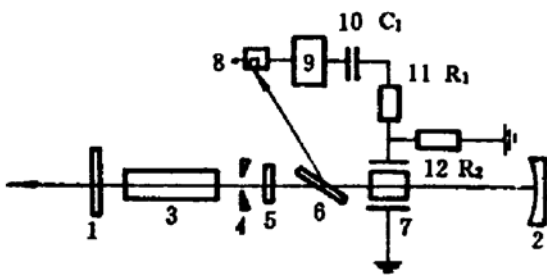


Fig. 2 Schematic of the experimental setup

激光器用单灯泵浦, 其中1、2分别为输出镜和全反镜(凹面曲率 $R = 3000 \text{ mm}$), 3为Nd:YLF棒($\phi 4 \times 60 \text{ mm}$), 4为小孔光阑($\phi = 1.5 \text{ mm}$), 5为LiF:F₂色心晶体, 6为介质膜偏振片, 7为KD*P晶体(普克尔盒), 8为GaAs光电导开关, 9为脉冲成形器, 10为高压电容, 11、12为耦合电阻. 激光器采用LiF:F₂色心晶体被动调Q. 当普克尔盒上不加任何电压时, 激光器输出光滑的高斯型脉冲, 脉冲宽度(FWHM)为45 ns, 见图3中幅度较高的脉冲.

当GaAs光电导开关接收到从偏振片反射出来的光信号后, GaAs光电导开关导通, 输出与光脉冲形状一致的电脉冲至高压电脉冲成形装置. 高压电脉冲成形装置由两部分电路构成, 前级是2CJ1C硅阶跃恢复二极管电脉冲幅度检测电路, 其阶跃时间为0.6 ns; 后级是2N5551雪崩三极管串, 高压电容C₁的一个电极接三极管串的高压端, 另一个电极接耦合电阻R₁. GaAs光电导开关输出的电脉冲幅度大于预定幅度后, 阶跃恢复二极管即向雪崩三极管串输出一个阶跃触发电信号, 雪崩三极管串导通, 高压电容C₁上的电压随即加在KD*P晶体上. 预定的比较电压大小是通过在阶跃恢复二极管上加一定的正向偏置电压确定. 通过选择R₁、R₂、C₁的参数大小, 并调节高压电脉冲的初始作用时间, 即调节电脉冲在光脉冲前沿的作用位置, 获得了平顶调Q激光脉冲, 见图3中较低幅度的脉冲. 脉冲平顶宽度为20 ns. R₁、R₂、C₁的参数分别是5 Ω、30 Ω和470 pF, 雪崩三极管串上加高压 $V_{\text{max}} = 1200 \text{ V}$, 加在

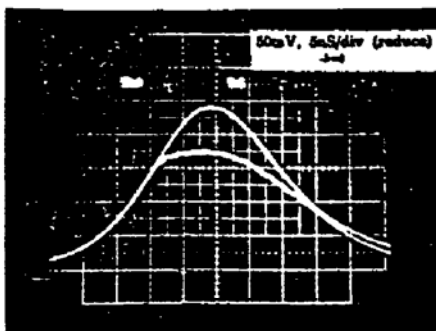


Fig. 3 Temporal shaping pulse (lower) and Gaussian pulse (higher)

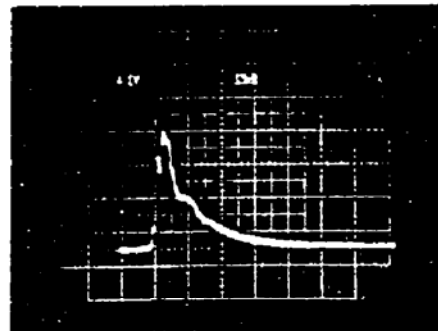


Fig. 4 Electric pulse loading on Pockels cell

KD*P 普克尔盒上的电脉冲见图 4 所示, 该波形是经过衰减后测得的, 实际峰值电压为 500 V。在实验中, R_1 、 R_2 、 C_1 的选取不要求很临界, 取定一组值之后, 可以通过调节电脉冲在光脉冲上的作用位置来获得不同幅度的平顶脉冲。

结 论 在调 Q 脉冲建立过程中, 在腔内引入随时间线性递减的损耗, 使腔内增益与损耗相互平衡, 净增益为零, 得到了稳定的平顶脉冲输出。实验的结果与理论分析相符合, 证明理论分析中所作的一些简化是可行的。平顶时间整形脉冲应用于高功率固体激光系统(LF12[#] 装置), 能克服削波开关时间抖动的影响, 削出脉冲的稳定性只与源脉冲稳定性有关(为±5%); 此外, 这种平顶波形的脉冲还有利于与探针激光的同步^[4], 对提高激光系统总体运行水平有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] D. J. Kuizenga, Short-pulse oscillator development for the Nd: glass laser-fusion system. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1981, QE-17(9): 1694~1708
- [2] W. G. Wagner, B. A. Lengyel, Evolution of the giant pulse in a laser. *J. Appl. Phys.*, 1963, 34(7): 2040~2046
- [3] 陈绍和, 陈有明, 陈韬略等, 一种新的锁模技术. 科学通报, 1991, 38(20): 1542~1543
- [4] 陈绍和, 陈韬略, 陈有明等, 长短脉冲振荡器输出同步研究. 光学学报, 1991, 11(12): 1091~1095

Temporal Shaping of Pulses in a Q-Switched Nd:YLF Laser

Guo Xiaodong Wang Shiji Gu Yuan

(Shanghai Institute of Laser Plasma, China Academy of Engineering Physics, Shanghai 201800)

Chen Shaoh Gu Guanqing Deng Ximing

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 19 April 1994; revised 7 September 1994)

Abstract When the pulse intensity of a Q-switched single longitudinal mode Nd:YLF laser increased to a predetermined value, extra loss was introduced into laser cavity. This made the total loss and the gain reach dynamic equilibrium for a period time, and the net gain in the laser cavity was zero. The pulse intensity was kept to a constant and a flat-top temporal shaping Q-switched pulse was obtained.

Key words gain, loss, temporal shaping pulse.