

PTM 调 Q 红宝石激光器的研究

刘佩田 杨德余 陈金春 高德清

汤传明 王玉平 郭启霞

(中国科学院安徽光机所)

提要: 本文给出了 PTM 调 Q 红宝石的实验结果。经二级行波放大后, 获得了脉宽 4.5 毫微秒、能量大于 2.5 焦耳的激光脉冲。

Study of PTM Q-switching ruby laser

Liu Peitian, Yang Deyu, Chen Jinchun, Gao Deqing, Tang Chuanmin, Wang Yuping, Gao Qixia

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The experimental results of PTM Q-switching ruby laser are given. By passing through two amplifiers, the pulse width of 4.5 ns and the energy of 2.5 j of the laser pulse can be obtained.

一、引言

在一些应用中, 激光的脉宽对其应用效果有着明显的影响。例如, 在人造卫星激光测距中, 激光的脉宽对测距精度有着直接的关系。如果用 20~30 毫微秒的激光脉冲测距, 其测距精度只能达到米级^[1], 而用毫微秒量级的窄脉冲, 测距精度可达到分米级, 乃至几个厘米^[1]。

我们采用了脉冲传输式——PTM 调 Q 技术, 获得了毫微秒量级的激光脉冲。通常的 Q 突变技术 (PRM) 所能获得的激光脉宽, 取决于光子在谐振腔内往返振荡的次数, 而 PTM 调 Q 方法能有效地控制腔内的光子寿命, 可以获得正比于谐振腔长的激光脉宽。

二、PTM 调 Q 输出的激光脉宽与腔长和开关速度的关系

我们实验采用的装置简图如图 1 所示。这一实验装置可简化为图 2。

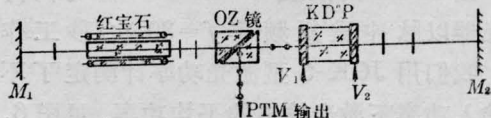


图1 PTM 调 Q 实验装置简图

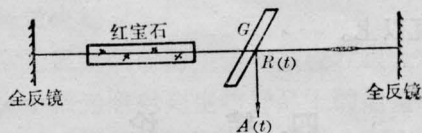


图2 PTM 调 Q 实验装置简化图

收稿日期: 1983 年 3 月 9 日。

图1中, KD*P 晶体与 OZ 格兰棱镜组成一个 Q 值突变元件。可以将其简化为一个单面反射的反射镜 G, 该镜的反射率 $R(t)$ 随 V_2 电压的变化而变化 (V_1 为 $V_{\lambda/4}$ 常加电压), 是时间的函数。

假设反射镜 G 的时间响应是线性的, PTM 调 Q 输出过程中, $R(t)$ 的特性如图 3 所示。

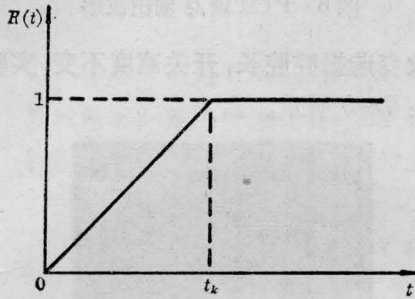


图3 反射镜 G 的反射率 $R(t)$ 的时间变化特性

$R(t)$ 可表示为:

$$R(t) = \begin{cases} \frac{t}{t_k} & (0 \leq t \leq t_k) \\ 1 & (t \geq t_k) \end{cases}$$

假定 V_2 由 $V_{\lambda/4}$ 开始阶跃的时刻 $t=0$, t_k 为开关速度。

分析可以看出*, 当 $2t_d > t_k > t_d$ 时 (t_d 为光子在腔内传播一个周期的时间), PTM 输出的幅度 $A(t)$ 可表示为:

$$A(t) = \begin{cases} A \cdot \frac{t}{t_k} & (0 < t < t_d) \\ A \cdot \left(1 - \frac{t-t_d}{t_k}\right) \cdot \frac{t}{t_k} & (t_d < t \leq t_k) \\ A \cdot \left(1 - \frac{t-t_d}{t_k}\right) & (t_k < t \leq 2t_d) \\ A \cdot \left(1 - \frac{t-2t_d}{t_k}\right) \cdot \left(1 - \frac{t-t_d}{t_k}\right) & (2t_d < t \leq t_k + t_d) \end{cases}$$

很显然, $A(t)$ 在区间 $t_d < t \leq t_k$ 有极值, $\tau_{\max} = \frac{t_k + t_d}{2}$ 。对于不同的 t_k 和 t_d , 均可用

上述方法进行分析。因此, 要想获得较理想的窄激光脉冲, 除了要尽量压缩谐振腔的长度外, 还要使开关速度尽可能快。

三、PTM 调 Q 的运转过程

从图1所示的实验装置图可以看出, e 光起振, o 光输出。激光器的工作过程如图4所示。

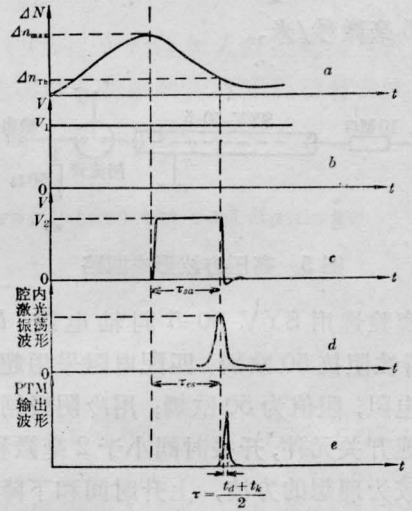


图4 PTM 调 Q 工作过程

a—粒子数反转密度; b—KD*P 晶体上常加电压 $V_{\lambda/4}$; c—KD*P 晶体上的瞬时电压 $V_2 = V_{\lambda/4}$; d—腔内激光振荡波形; e—PTM 输出的激光波形

由图4可知, 氙灯点燃时, KD*P 晶体两电极电压为 $V_1 = V_{\lambda/4}$, $V_2 = 0$, 此时, 谐振腔处于低 Q 值状态; 当工作物质内反转粒子密度 $\Delta n = \Delta n_{\max}$ 时, KD*P 开始加上 $V_2 = V_{\lambda/4}$ 电压, 这时 KD*P 晶体处于零场, 谐振腔处于高 Q 值状态, 腔内形成“动态”激光振荡。当腔内激光光场达到峰值时, V_2 迅速由 $V_{\lambda/4}$ 阶跃到零, V_1 仍为 $V_{\lambda/4}$, 腔内形成的激光振荡光两次通过 KD*P 晶体, 偏振面旋转 90° , 由 OZ 格兰棱镜输出。由此可知, 一个较理想的高压方波 V_2 是 PTM 调 Q 正常工作的必

*注: 华北光电所汤沂等同志推导。

要条件之一，方波的宽度由腔内激光脉冲形成时间 τ_{es} 确定。

四、高压方波 V_2 的产生

我们采用同轴电缆产生高压方波 V_2 ^[2,3]，取得了较好的结果。线路图示于图 5。输出的高压方波宽度由同轴电缆长度 l 决定^[3]。即 $\tau_{sq} = \frac{2l}{v}$ ， v 为同轴电缆延时常数，约为 5 毫微秒/米。

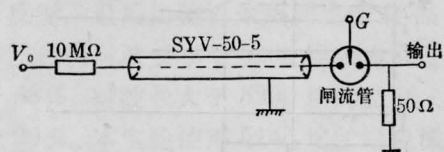


图 5 高压方波形成回路

实验选用 SYV-50-5 同轴电缆， $l=15$ 米，特性阻抗 50 欧姆，匹配电阻采用超高频无感电阻，阻值为 50 欧姆；用冷阴极闸流管作快速开关元件，开关时间小于 2 毫微秒。获得了较为理想的方波，上升时间和下降时间均约为 6 毫微秒。高压方波的宽度 τ_{sq} 由谐振腔内激光脉冲形成时间 τ_{es} 确定。脉冲形成时间选取是否合适，关系到 PTM 能否正常运转， τ_{sq} 过大，输出能量极低，而 τ_{sq} 过小，输出功率过高，会导致腔内光学元件特别是 OZ 格兰棱镜的严重损坏。经综合考虑我们的实验中选取 τ_{sq} 约为 150 毫微秒。

五、实验及其结果

实验采用图 1 的结构。 M_1 、 M_2 均为 6943 埃全反镜，工作介质为 90° 生长的 $\phi 10 \times 100$ 毫米的红宝石棒，用双直管氙灯泵浦。聚光腔采用双椭圆柱形，OZ 格兰棱镜由冰洲石制成，为防止自激振荡，腔内光学元件表面均镀 6943 埃增透膜，Q 值突变元件 KD*P 晶体浸在折射率匹配液中*。 $V_1=1900$ 伏，

V_2 方波宽度 150 毫微秒，泵浦能量 1350 焦耳，获得了 250 毫焦耳，脉宽约为 4.5 毫微秒的 PTM 输出。激光波形如图 6 所示。

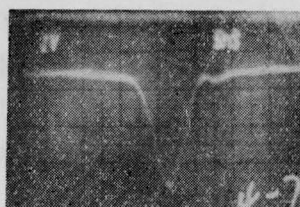


图 6 PTM 调 Q 输出波形

改变谐振腔腔长，开关速度不变，实验结果如图 7~9 所示。



图 7 腔长约 560 毫米，输出激光脉宽约 4.8 毫微秒



图 8 腔长约 700 毫米，输出激光脉宽约 5.4 毫微秒

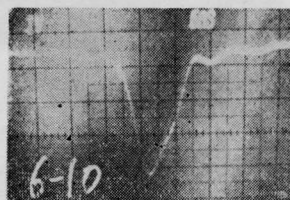


图 9 腔长约 900 毫米，输出激光脉宽约 6.5 毫微秒

腔长保持不变(560 毫米)，开关管换成开关速度为 8 毫微秒，高压方波后沿约 10 毫微秒，输出的激光波形如图 10 所示，脉宽约 7 毫微秒。

* 匹配液由安光所 502 组提供。

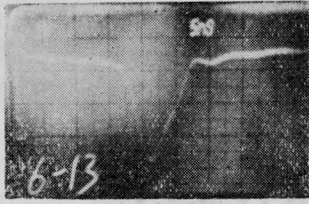


图 10 腔长 560 毫米, 高压方波下降时间约 10 毫微秒, 激光脉宽约 7 毫微秒

从上述结果可以看出, 随着腔长或高压方波后沿下降时间变大, PTM 输出的激光脉宽逐之增加, 而且基本上符合 $\frac{t_k + t_d}{2}$ 的计算结果。

我们又将振荡器输出的激光脉冲再进行二级行波放大。放大器工作介质为 $\phi 12 \times 150$ 和 $\phi 14 \times 200$, 均采用双灯泵浦, 三级的灯、棒、聚光腔分别水冷, 流量大于 20 升/分钟。最终输出能量大于 2.7 焦耳, 连续工作 30 分钟, 波动小于 $\pm 10\%$ (均方根差), 脉宽 4.5 毫微秒, 束散角 3 毫弧度 (3 毫弧度内包含总能量的 64%), 光束抖动小于 $40''$ 。

六、讨 论

1. PTM 调 Q 技术是一项复杂的技术, 涉及的因素较多。要精细调节各种参数, 需要

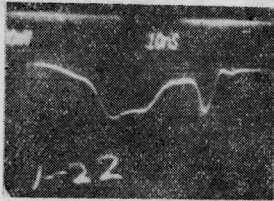


图 11

有充电精度较高的电源 (本实验充电精度为八百分之一)。还要精确选择电光元件两电极的电压 V_1 、 V_2 , V_2 方波电压选取合适与否, 会影响 PTM 输出脉冲是否“干净”, 当 V_2 电压选择不当, 会在主脉冲之前出现子脉冲, 甚至会产生双脉冲, 如图 11、12 所示。

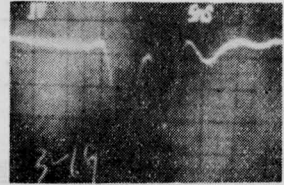


图 12

2. 由于 PTM 调 Q 的光场积累是在封闭腔内进行的, 因此腔内有极高的光密度, 容易损坏腔内的光学元件, 必须适当选择腔内脉冲形成时间 (即高压方波宽度), 同时要选取高质量的 OZ 镜 (冰洲石) 材料。

3. PTM 调 Q 是一种高效能的获得窄激光脉冲的技术, 它有着明显的优点, 输出的激光脉宽窄, 功率高, 稳定, 装置又简单, 是一种比较有应用前途的技术。尤其在研制出抗破坏阈值高的介质膜起偏器以后, 更可发挥其潜在能力。

华北光电所汤沂同志提出过有益的意见, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] T. E. Megumigal; NASA, N75-30541.
- [2] W. Koechner; *Laser*, 1976, p. 442.
- [3] 徐则琨编; 《脉冲技术》, 人民教育出版社, 1964, p. 52.