

PTM Q 突变技术研究

王福贵 张新因

(中国科学院上海光机所)

提要: Q 突变技术归结为 PRM 和 PTM* 两种控制谐振腔内光子寿命的基本方法。文中以 PTM Q 突变技术为例给出了实验结果。提出了获得激光脉宽极值 $\tau_{pu} \propto \frac{L}{C}$ 可采用双端开腔 Q 技术的建议。

Study of PTM Q-switching technique

Wang Fugui Zhang Xinnan

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

Abstract: In principle Q-switching techniques can be divided into two kinds: pulse reflective mode operation (PRM) and Transmission mode operation (PTM), which govern the photon lifetime in a resonator. Here PTM Q-switching technique is taken as an example and the experimental results are given. A proposal is made for achieving a minimum laser pulse width $\tau_{pu} \propto \frac{L}{C}$ by the use of double-ended open resonator.

通常 Q 值突变技术多采用 PRM 法, 以获得 10~20 毫微秒的激光脉冲, 取决于光子在谐振腔内往返振荡的次数; PTM 法能有效地控制腔内光子寿命, 获得正比于腔长的激光脉宽。PTM 法基于封闭腔建立峰值光场并瞬间开腔, 使腔内驻波场强在一个传播周期内下降到 1/e。显然, $\tau_{pu} \propto \frac{L^*}{C}$ 。本实验采用单端开腔。由驻波场的双向传播特性, 若忽略全反射镜这一端的衍射损耗, Q 值突变后腔内光子寿命 $\tau_{ph} \approx \frac{2L^*}{C}$ 。式中 L^* 是谐振腔光学长度, 脉冲宽度 τ_{pu} 则有:

$$\tau_{pu} = \frac{2L^*}{C} \sqrt{\frac{2\Delta n_{th}}{\Delta n_i}} \quad (1)$$

式中 Δn_{th} 是阈值粒子数反转密度, Δn_i 是 $t=0$ 时的粒子数反转密度。

1. PTM Q 值突变技术的运转过程及谐振腔条件

如图 1 所示, Q 值突变元件用 LiNbO₃

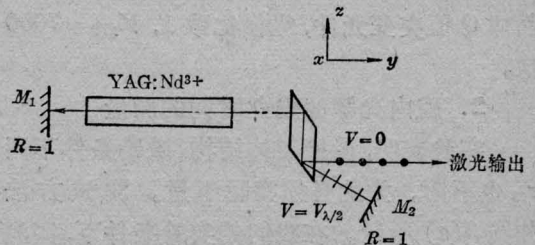


图 1 PTM Q 突变单端开腔光路

收稿日期: 1978 年 9 月 14 日。

*PRM—脉冲反射模; PTM—脉冲透射模

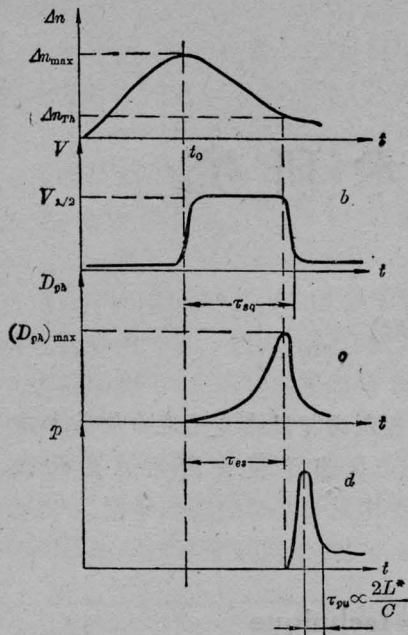


图2 PTM Q 突变工作过程

a—粒子数反转密度；b—Q 突变开关上电压；
c—腔内光子密度；d—输出

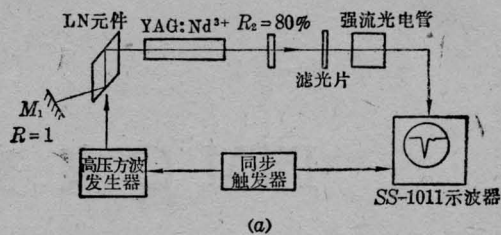
晶体磨制成双 45° 形，e 光起振，o 光输出。

工作过程示于图 2。由图 2 可知，当反转粒子数密度 $\Delta n = \Delta n_{th}$ 时，Q 值突变元件开始加半波电压 $V_{\lambda/2}$ ，闭腔起振。当腔内光场达到峰值瞬间除去半波电压，开腔输出。为此，一个较理想的方波电源是 PTM 法的必要条件之一。方波的宽度由腔内激光脉冲建立时间 τ_{es} 决定。为了设计方波宽度 τ_{sq} ，必须实际测量 τ_{es} 。

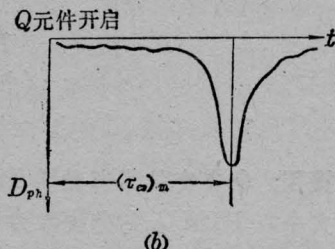
实验中取 $L^* = 500$ 毫米，腔镜 M_1 、 M_2 均为全反式，激光介质为 YAG:Nd³⁺ 棒 $\phi 6 \times 70$ ，输出激光波长 1.06 微米。双 45° LiNbO₃ 晶体 Q 值突变元件，纵横比取 1， $V_{\lambda/2} = 7000$ 伏。

2. 腔内光脉冲建立时间的测量

实验表明，谐振腔体结构、激励条件不同 τ_{es} 也不同。为此必须实际测量。测试方法如图 3(a) 所示。在我们的实验条件下，实测 $(\tau_{es})_m = 75$ 毫微秒，如图 3(b) 所示。此外也用了腔内取样方法，即在封闭腔条件下测得 $(\tau_{es})_m = 70$ 毫微秒。测试方法示于图 4。



(a)



(b)

图3 腔端耦合 $(\tau_{es})_m$ 测试装置示意图

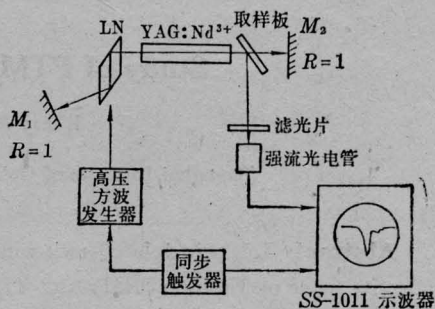


图4 腔内取样 $(\tau_{es})_m$ 测试装置示意图

上述两种方法均不同程度地破坏了腔的封闭性，加大了腔损耗，或提高了激光起振阈值。 $\tau_{es} \propto \tau_r = \frac{\tau_{ph}}{\frac{\Delta n_i}{\Delta n_{th}} - 1}$ ，因此 Δn_{th} 的提高

延长了 τ_{es} 。式中 τ_r 是激光脉冲上升时间。实验表明，在给定的条件下，理想封闭腔应有 $\tau_{es} \approx 60 \sim 70$ 毫微秒 $\leq (\tau_{es})_{m0}$ 。

3. 高压方波发生电源与激光输出特性

本实验采用同轴延迟电缆^[1]产生高压方波，取得较好的实验结果。线路示于图 5。用充氢闸流管 ZQM 50/5 做快速电开关。图中 S 点电压波形示于图 6，其示波图形如照片 2，照片 1 是未加同轴电缆时 s 点的电压示波图形，这是一个典型的指数曲线。其方波宽度由同轴电缆长度 l 决定^[2]，即

$$\tau_{sq} = 2\tau' = \frac{2l}{v} \quad (2)$$

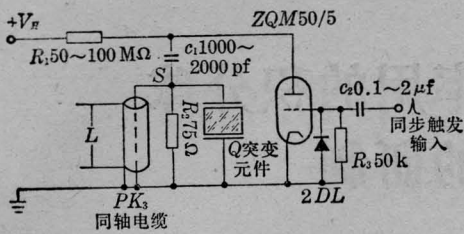


图5 高压方波发生器线路示意图

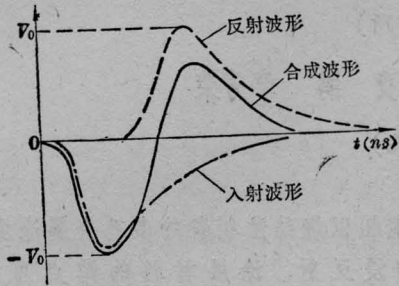
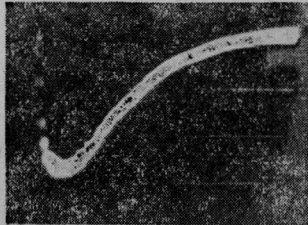
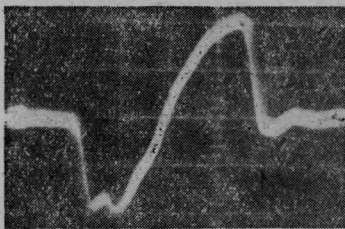


图6 S点电压波形



照片1 (时标: 50 毫微秒/厘米)



照片2 (时标: 50 毫微秒/厘米)

实验选用 PK_3 同轴电缆, $l=8.3$ 米, 特性阻抗 $Z_0=72\sim 75$ 欧, 分布电容 $C\leq 76$ 微微法, 延时常数 $t_0=4\sim 5$ 毫微秒/米。据上述数例有方波宽度 $\tau_{sq}=65\sim 80$ 毫微秒, 与实验结果相符。输出激光能量 90 毫焦耳, 脉宽 $(\tau_{pu})_m=4\sim 5$ 毫微秒。激光脉冲波形示于照片 3。

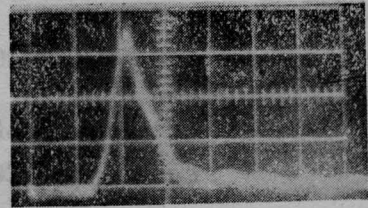


照片3 (时标: 10 毫微秒/厘米)

4. 讨论

由(1)式可知 PTM 法, 在 $L^*=500$ 毫米时应有 $\tau_{pu}\leq 3$ 毫微秒, 实验值 $(\tau_{pu})_{ex} > \tau_{pu0}$ 除多模迭加效应外, 尚因高压方波后沿较宽所致。

在相同实验条件下比较了 PRM 和 PTM 两种 Q 值突变技术, 结果获得相近的激光输出能量。前者的激光脉宽波形示于照片 4。



照片4 (时标: 10 毫微秒/厘米)

由于 PTM 法的光场积累是在封闭腔内进行, 腔内有极高的光密度, Q 值突变元件易用破坏阈值较高的 KDP 晶类制作。为了获得更窄的激光脉宽可能采用双端开腔技术以消除驻波场的双向传播效应, 但此法将损耗一半激光输出能量。

本工作于 1977 年 11 月完成。北京大学物理系 77 届学生孟庆荣、王玲菊参加了实验工作, 庄逢源老师提出了有益的意见, 一并致谢。

参 考 文 献

- [1] W. Koerner; *Laser*, 1971, No. 3, 27.
- [2] 徐则琨等编;《脉冲技术》, 人民教育出版社, p. 152 (1964).