

缓慢调 Q 腔倒空过程输出平顶方波激光脉宽控制

张少军 黄 骝 田 勇 孙东昱 李延廷 刘 靖
(北京工业大学应用物理系,北京,100022)

摘要:在使用缓慢调 Q 腔倒空技术产生平顶激光脉冲的实验中,对脉冲的平顶部分的时间长度、前、后沿陡度进行控制,即可控制输出平顶激光脉冲的脉宽。

关键词:缓慢调 Q 腔倒空 平顶脉冲 脉宽控制

Laser pulse width controlling in the process of cavity flows empty with slowly Q adjusting

Zhang Shaojun ,Huang Liu ,Tian Yong ,Sun Dongyu ,Li Yanting ,Liu Jing
(Department of Applied Physics ,Beijing Polytechnic University ,Beijing ,100022)

Abstract : In some application fields ,the square laser pulses are necessary . The conventional cavity flow empty lasers can obtain the pulse output with 10ns pulse width ,but not the square laser pulses . In our theoretical analysis ,the computer simulation was carried out to fine the solution of the rate equation and to get the relation of the photon number and the Q index . So we can control the photon number of the process of the cavity flow empty to obtain the square laser pulses by adjusting Q index . The experiments were carried out . We supplied a adjustable voltage on the Pockels ' cell to control the Q index in the process of cavity flowing empty and the experiment results show that square laser pulses with the width of 40 ~ 70ns can obtain .

Key words : cavity adjusting Q slowly flows empty flat top pules pulse width control

引 言

我们知道,腔倒空激光器在腔长 1.5m 时,输出巨脉冲宽度 10ns 左右^[1~3]。如果将腔倒空过程的跳变式调 Q 改为慢过程调 Q,并使 Q 值按照给定函数曲线调节,即对倒空过程进行控制,可使输出光的时域波形为方波,这就是缓慢调 Q 腔倒空。下面我们将介绍缓慢调 Q 腔倒空过程方波的产生。

1 缓慢调 Q 腔倒空过程方波的产生

图 1 是部分实验光路。普克尔盒、格兰棱镜、反射镜构成一个可变反射率的反射镜系统。在普通腔倒空激光器中,加在普克尔盒上的电压为 $V_{\lambda/4}$ 时,经过两次入射、出射,偏振方向旋转 90°。因为格兰棱镜已使入射到普克尔盒上的光为线偏振光,而且偏振方向与两次入射、出射普克尔盒的线偏振光的偏振方向正交。如图结构中,当普克尔盒上加有 $V_{\lambda/4}$ 电压时,从普克尔盒出射的偏振光偏振态垂直于格兰棱镜的偏振态,因而全部倒出腔外。激光器腔长 1.5m,腔内光子在 10ns 左右全部倒出,形成 10ns 左右脉宽的脉冲。而高压函数发生器加在普克尔盒上的电

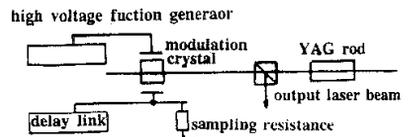


Fig.1 Part light path

压是一个按一定规律变化的电压函数,缓慢调 Q 来控制倒空过程,电压跳变不是 $V_{\lambda/4}$,而是一个可设定值并在 $(0, V_{\lambda/4})$ 范围之间调节,使普克尔盒与格兰棱镜之间形成一道“可控闸”,并有一定的开启度,对光子倒出腔外过程实施控制,形成一个脉宽为 40~70ns 的平顶脉冲。要产生平顶脉冲,腔内光子数的倒出就须有一定的规律,用计算机对速率方程进行求解,解出光子数控制规律,而光子数控制是通过调 Q 来进行的。

将 YAG 工作物质简化成二能级系统,速率方程经理论处理及作适当的简化^[4],关于光子数的变化规律的方程为

$$dN/dt = -Nc\gamma/(nL) \tag{1}$$

$$\gamma = Ln[1 - T(t)]/2 \tag{2}$$

式中, N 为光子数; n 为工作物质折射率; c 为光速; $T(t)$ 为透射输出; γ 是由透射输出所决定的一个中间参数。代入具体数值,得出

$$dN/dt = 1.8 \times 10^8 NLn(1 - 1.09 \times 10^{21}/N) \tag{3}$$

$$T = 1.09 \times 10^{21}/N \tag{4}$$

初值条件是 $N_{t=0} = N_m = 1.08 \times 10^{22}$ (5)

对(3)式和(4)式数值求解后,得到光子数变化规律及对应普克尔盒电压控制规律,通过实验对电压变化规律进行修正。光子数的变化规律为 $N = N_m + 10^7 t + at^2 + bt^3$ (6)

式中, at^2, bt^3 是高次修正项,省略后,对分析影响不大,故 $N = N_m + 10^7 t$ (7)

电压波形用函数关系描述为

$$u_{pc}(t) = \begin{cases} u_m(0 < t < t_1) \\ a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots (t_1 < t < t_2) \\ b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots (t_2 < t < t_3) \end{cases} \tag{8}$$

使用储能元件电容器、延迟线分段拟合并实施这些波形,故将高次项 $a_3 t^3, b_3 t^3, \dots$ 略去, a_0, a_1, a_2, b_1, b_2 等系数随电压跳变幅度控制情况而变,给定电压跳变幅度,上面诸系数即确定。下面给出几个波形的对应关系,见图 2 和图 3。

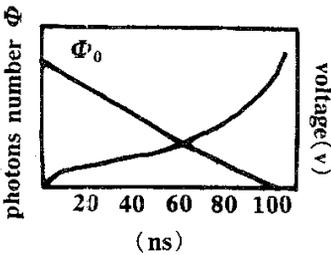


Fig.2 Photons number and ideal wave shape

实验中使用高压函数发生器来实现上述的电压变化规律,把电压 $u_{pc}(t)$ 加在普克尔盒上,可控制倒出光波形,形成平顶激光脉冲。普克尔盒上电压下跳幅度不是一下跳到 $V_{\lambda/4}$,而是小于 $V_{\lambda/4}$,由于下跳幅度不同,初始倒出的光子数目就不同,在泻倒的过程中,继续控制倒出光子的数量,这样形成的激光脉冲波顶被拉平,形成方波。

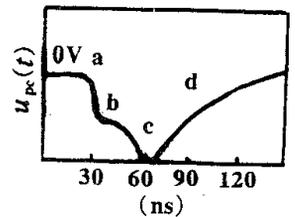


Fig.3 Imitation voltage wave shape

2 影响方波脉宽的主要因素

从实验中发现,影响方波脉宽的主要因素有:泵浦强度,延时环节的作用区域及强度,触发脉冲的移动,电路中的一些电阻元件及电容元件参数的影响。下面分别讨论。

(1) 泵浦强度 当泵浦电压为 660V 时,方波脉宽 150ns,泵浦电压 680V 时,脉宽 120ns。实验表明:泵浦越强,脉宽越窄,泵浦在 720V 时,脉宽为 70ns。

这种情况的出现是由于泵浦强时,工作物质中反转粒子数密度就大,振荡的光子数就多,

倒出光的前后沿陡,顶部变化就快,脉宽就窄。

(2)三路延时下跳的作用区域及强度 为使倒空过程可控并输出方波,设置了3路延时下跳环节对脉冲前、沿、波顶进行调节。当第1路与第2路延时下跳相距15ns,第2路与第3路延时下跳相距30ns时,脉宽65ns。

通过调节1,2,3路延时下跳的彼此间距,也可以调节脉宽;调节间距的同时,也进行下跳幅度的调节,也能调节脉宽。3路延时环节如图4。

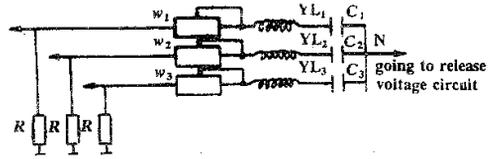


Fig.4 Several delay link

当快速释压电路电压下跳时,延时环节

YL1, YL2, YL3 顺序延迟一个时间,将 N 点电位跳变到 M 点,1 路延迟时间 $t_{y1} = l_{y1}/c$, 2, 3 路的延迟时间分别为 $t_{y2} = l_{y12}/c$, $t_{y3} = l_{y13}/c$ 其中 l_{y1} , l_{y2} , l_{y3} 分别为环节 1, 2, 3 的延时线的长度。延时时间可任意调节。

(3)触发脉冲的影响 触发雪崩管导通的触发电路中有单稳电路,用来移动触发脉冲产生时刻。当移动触发脉冲的发生时刻,方波脉宽明显地能得到改变。实验表明,触发前移,脉宽变宽,后移则变窄。

(4)电路参数对脉宽的影响 当高压函数发生器的阻容元件参数改变时,方波脉宽发生明显改变。如图4中的 $R_1, R_2, R_3, W_1, W_2, W_3$ 及高压电源的联结电阻,数值变化都能引起方波脉宽变化。因为普克尔盒也等效于一个几十 pF 的电容,高压函数短时间内(小于 20ns)的变化是一个暂态过程,在普克尔盒并一个 108pF 的电容时,脉宽变窄。

3 方波脉宽的控制

经实验对比及理论分析,为较好地控制方波脉宽,首先给出最佳电路参数,然后确定泵浦强度,移动触发脉冲的时刻控制倒光时刻进入3路延时下跳的最佳作用区域,再控制3路延时下跳的幅值及3路合成波形来控制脉宽。

(1)电路参数选择 高压函数发生器中的快速雪崩释压电路中的充电电阻、放电电阻、普克尔盒上并联电容值,3路下跳环节中的 R, C 值都属于电路参数。

充电电阻可选 1MΩ ~ 1.5MΩ,当脉冲重复频率较低时,可选大一些,重复频率较高时,可选小一些,原则是:既能使过渡过程与重复频率同步,又不使电路元件因长时工作电流过大而烧坏。

3路延时下跳环节中电阻可取 100 ~ 1000Ω,3路阻值由波形来决定。普克尔盒上并 50 ~ 100pF 电容,太小了,平波作用弱,太大了,破坏原电路性状。延时环节长度差为 4.5 ~ 9m。

(2)触发脉冲触发时刻的选择 控制触发脉冲的触发时刻,可将倒出光整体移动 50ns,通过控制触发时刻,将光脉冲移动到3路延时下跳的最佳作用区域,得到脉宽、波形的最佳调节效果。

(3)3路延时下跳的间隔及幅度控制 将第1路延时下跳定位到不可控倒出光脉冲的前沿,第3路延时下跳定位到后沿的中间处,第2路作用于波顶。为控制方便,还可将延时下跳环节做成连续滑动式无级调节结构。

4 结 论

通过以上分析,要有效的控制平顶脉冲的脉宽,关键是高压函数的形式,但泵浦强度、延时环节的作用区域及强度、触发脉冲的发出时刻和系统参数的合适与否都起着重要的作用。由于实用的要求,缓慢调Q腔倒空过程输出的方波还须经过放大级放大,使得输出有足够大的能量。除了波形外,输出能量也是方波激光器的一个基本指标。第1级的波形、输出能量可与放大级的波形、输出能量综合考虑和控制。

参 考 文 献

- 1 胡绳高,黄维玲,陈泽民 *et al.* 激光杂志,1998 ;19(5) 8~10
- 2 黄 骜,赵 宇,孙卜雷 *et al.* 激光与光电子学进展,1996 ;7(9) 37~39
- 3 邹英华,孙陶亨.激光物理学.北京:北京大学出版社,1991
- 4 周炳昆,高以智,陈家骅 *et al.* 激光原理.第一版,北京:国防工业出版社,1995

*

*

*

作者简介:张少军,男,1958年4月出生。博士生。主要从事超短脉冲、固体激光器研究。