

# 可调谐皮秒染料激光器的 腔倒空器驱动器

赵双全

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春130022)

**摘要** 介绍了皮秒染料激光器输出的腔倒空器工作原理, 研制腔倒空器驱动器的电路技术, 并列出了所制成仪器的实测结果。

**关键词:** 皮秒染料激光器; 腔倒空器; 驱动器; 锁相振荡器

## 1 前 言

可调谐皮秒染料激光器的问世, 为物理学、化学、生物学等学科的前沿科学研究超快过程提供超短脉冲光源。由于输出的光脉冲具有脉宽窄波长连续可调、稳定性高等引人注目的特点, 该激光器已成为各国先进的光学实验室中不可缺少的重要设备。在激光器的实际应用中, 遇到实验室测试、记录设备限制的情况下, 往往要求脉冲光源的重复频率降低, 并且应能可调。以腔倒空器为输出的皮秒染料激光器满足了这一要求。在研究弛豫过程时, 当弛豫过程的衰减时间等于或大于脉冲间隔时间, 或当用于检测不可逆过程时, 腔倒空器作为激光器输出更是一种十分有用的系统。因此, 增加腔倒空器的设置使皮秒染料激光器成为实用的实验设备, 并扩大了该激光器的应用范围。

作者在皮秒染料激光器的研制工作中, 承担了腔倒空器驱动器的设计、研制。仪器制成后, 经过运行实测, 取得了预期的主要技术指标。

## 2 皮秒染料激光器和腔倒空器的工作原理

皮秒染料激光器以氩离子锁模激光器为同步泵浦源。氩激光器是紫外和可见光波段高功率连续波激光器, 用声光调制内损耗方法可实现氩离子激光器的模式锁定, 产生亚纳秒数量级的脉冲序列。将氩激光脉冲照射在以染料若丹明6G(Rhodamine 6G)为介质的染料激光器中, 由于染料的吸收波段正好与氩激光工作波段相对应, 如果使染料激光脉冲在激光器腔内循环周期与氩激光脉冲的时间间隔相等, 则染料激光脉冲在几皮秒时间间隔迅速非线性放大, 脉冲的前沿和后沿受到整形和同步压缩, 终于可得到脉宽为皮秒数量级的光脉冲。

腔倒空器的核心是一个声光调制器件,设置在激光谐振腔内,利用声光调制器件的衍射作用,进行激光的耦合输出。它的基本结构如图1所示。

声光调制器件由夹在上电极与下电极之间的压电晶体换转器和声光介质组成。当在换能器两端电极之间加高频电压后,换能器所产生的超声波使声光介质的折射率随超声频率而变化,宏观上起衍射作用。这种衍射方式是行波布拉格衍射。此时从 A 点向 B 点传播的光被衍射。零级衍射光沿 BC 方向传播,而一级衍射光沿 BD 方向传播,设原光场为

$$E(t) = E_0 \cos(\omega t) \tag{1}$$

式中  $\omega$ : 氩激光锁模调制电源频率,则 D 点光场为

$$E_D(t) = \sqrt{\eta} E_0 \cos(\omega + \Omega)t \tag{2}$$

式中  $\Omega$ : 声频或射频频率

$\eta$ : 衍射效率

C 点光场为

$$E_C(t) = \sqrt{1 - \eta} E_0 \cos(\omega t) \tag{3}$$

(2)式中衍射光束的频移是多普勒效应引起的<sup>[5]</sup>。频移简单地等于声波的频率。频移值增加或减少依赖于声波传播的方向。

被  $M_1$  反射回 B 点的光束再次通过声光调制器被衍射,于是 E 点光场(总光场)为

$$E_E(t) = \sqrt{\eta} \sqrt{1 - \eta} E_0 \{ \cos(\omega + \Omega)t + \cos(\omega - \Omega)t \} = 2 \sqrt{\eta} \sqrt{1 - \eta} E_0 \cos \omega t \cos \Omega t \tag{4}$$

由(4)式可知输出光束中包括  $(\omega + \Omega)$  和  $(\omega - \Omega)$  两种频率,其结果是输出光脉冲被调幅,出现光脉冲强弱相间的现象。

输出光强为

$$I_E(t) = E_E^2(t) = 2\eta(1 - \eta)(1 + \cos(2\Omega t))\cos^2(\omega t) |E_0|^2 \tag{5}$$

只要衍射效率达到50%即可做到

$$I_{E \max} = I_0 = |E_0|^2 \cos^2(\omega t) \tag{6}$$

如在调制信号  $(1 + \cos(2\Omega t))$  上加上门控,使开门时间短于脉冲序列周期(如图2)就能将单脉冲全部能量倒出。

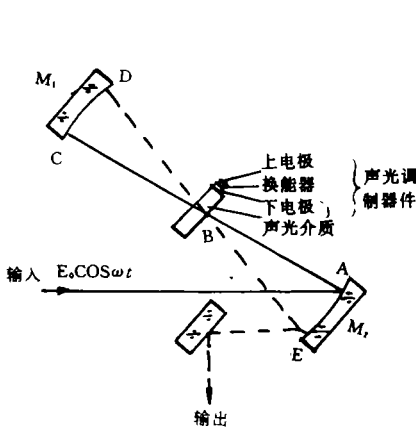


图1 腔倒空器双程调制示意图

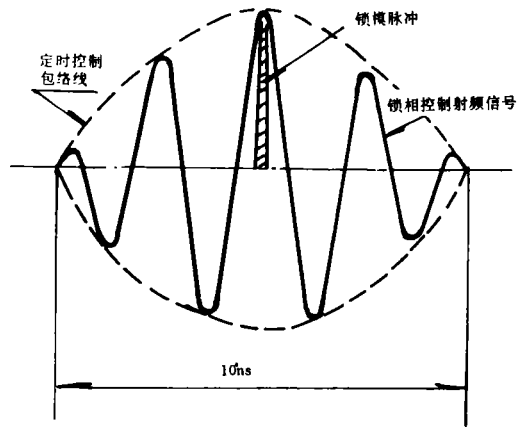


图2 射频相位控制

要保证每次倒出来的脉冲都是强的脉冲,则需使腔倒空器声光器件射频频率  $\Omega$  和氩激光

锁模调制电源频率  $\omega$  之间满足如下关系:

$$\Omega = (m + \frac{1}{2})\omega \quad (7)$$

式中  $m$  为一个正整数。当  $m=9$  时,脉冲频率关系如图3所示。此外,门控信号相位与锁模脉冲也要匹配,使锁模脉冲有最大的输出,出现如图2所示的相位关系,如果相位匹配偏离,将会导致倒空器输出时有相邻脉冲出现,如图4所示。

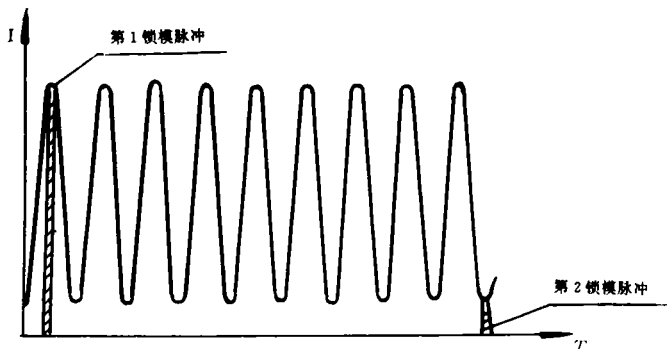


图3 第二锁模脉冲的抑制

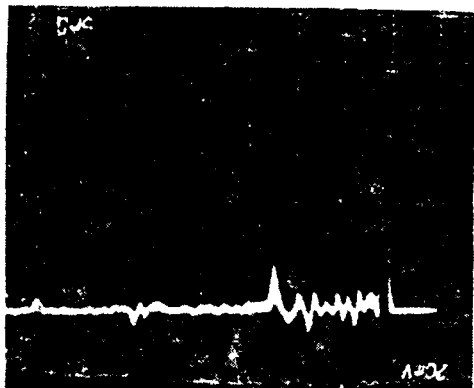


图4 相位匹配偏离的倒空器输出波形

### 3 腔倒空器驱动器设计要求和工作原理

腔倒空器驱动器是声光调制器的驱动电源,是完成倒空器输出脉冲的指挥源。腔倒空器驱动器的作用如下:

(1)产生一个具有足够功率的超高频驱动信号加在换能器两端,使换能器产生超声波,建立声光介质的超声场;

(2)为使倒空器输出的脉冲序列的重复频率可变,驱动器必须产生由短脉冲调制射频信号的脉冲串,脉冲串的重复频率应可调;

(3)为满足锁模脉冲,门控信号和射频信号之间相位匹配,不但需要锁相,而且要求相位可调节;

(4)要使每次倒空出来的脉冲都是强的一个,射频频率应严格满足  $(m + \frac{1}{2})$  倍锁模频率关系。

为满足上述作用,首先要选择换能器的工作频率。选择的频率越低,对电子学系统的实现越方便。但在短脉冲调制的门控时间内,应保证有足够的射频周期,一般至少有4~5个周期,否则光路调整更困难。已知锁模电源频率为41MHz。锁模激光脉冲序列的重复频率是82MHz。我们取  $m=9$ ,则射频频率  $\Omega$  应为

$$\Omega = 389.5\text{MHz}$$

### 4 腔倒空器驱动器的构成和设计要求

腔倒空器驱动器主要包括功率放大器,锁相振荡器,逻辑控制及脉冲调制电路等部分。整

个系统工作在脉冲方式。图5为系统方框图。其中锁相振荡器锁相于82MHz信号,以获得一个稳定的389.5MHz射频信号。脉冲调制电路产生一个短脉冲用来调制389.5MHz射频信号。功率放大器将射频信号放大到声光调制器所需要的电平。驱动器电路中主要部分的设计要求说明如下:

#### 4.1 锁相振荡器

389.5MHz锁相振荡器采用频率合成技术,将82MHz参考信号合成产生 $f_0=389.5\text{MHz}$ 的输出信号。该信号具有和输入信号相同的频率稳定性和良好的输出频谱纯度。

389.5MHz锁相振荡器方框图如图6所示。

振荡器输入参考信号 $f_r$ 经分频除以 $N$ ,再经脉冲整形送鉴相器与 $V_0$ 频率相比较。整形器,鉴相器,低通滤波器和压控振荡器组成 $N$ 次谐波锁相电路,当环路处于锁定状态,振荡器输出频率为

$$f_0 = Nf_r/N_1 \quad (9)$$

其中 $N_1=4$ , $N=19$ , $f_r=82\text{MHz}$ ,则 $f_0=389.5\text{MHz}$ 。

锁相振荡器的输出经可变衰减器输给脉冲调制器。

#### 4.2 功率放大器

放大器由五级组成。输入输出阻抗均为 $50\Omega$ 。由于晶体管的输入及输出阻抗为一复数阻抗,对每级晶体管的基极和集电极均需匹配网络,此网络分别由基极匹配线和集电极匹配线以及耦合电容所组成。基极和集电极匹配线及输出端的阻抗变换网络采用微带电路实现。所有器件安装在丁二烯基板的微带电路上。放大器除末级工作在丙类外,其余均工作在甲类。电源供电电压为直流 $+24\text{V}\sim+28\text{V}$ 。

功率放大器封装在铝制的散热盒内,具有良好的冷却作用。输入输出通过 $L_1$ 插座与外部连接。

#### 4.3 逻辑控制及脉冲调制电路

该电路的功能如下:

- (1)产生不同的脉冲重复频率的短脉冲串,用以调制389.5MHz射频信号;
- (2)控制脉冲延时,调节与参考信号(82MHz)之间的相对位置;
- (3)产生与调制信号频率相同的同步信号;
- (4)进行外同步调制。

该电路包括分频器,整形器,延时电路,输出电路,脉冲调制器及射频放大等。82MHz信号经分频后,输入到脉冲调制电路,再经分频电路分频,用手动波段开关选择不同的重复频率调

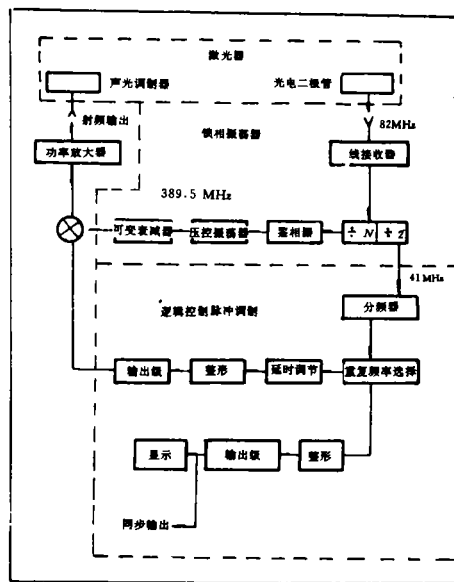


图5 腔倒空器驱动系统方框图

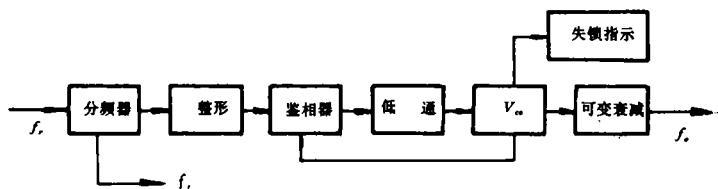


图6 锁相振荡器方框图

制脉冲。为了能改变调制脉冲和射频信号间的相位,电路中设置延时器。调制脉冲的宽度由整形电路实现。最后信号经输出电路送至脉冲调制器。

脉冲调制器是一个由短脉冲(脉宽10ns)所驱动的双平衡混频器。它也可在连续波下工作,则由直流偏置电压所驱动。因此,经调制后可输出脉冲调制波或载波。

## 5 实测结果

### (1)腔倒空器驱动器输出波形

根据以上电路要求研制的驱动器,用7904型示波器记录。

图7为门控信号调制下脉冲调制器输出波形。

图8为重复频率为800kHz时短脉冲序列的波形,展宽后的短脉冲宽度仍应保持为10ns(图7波形)

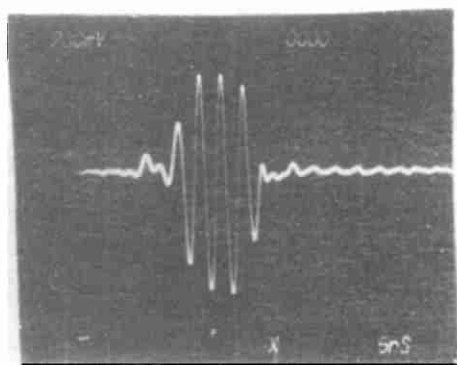


图7 脉冲调制器输出波形

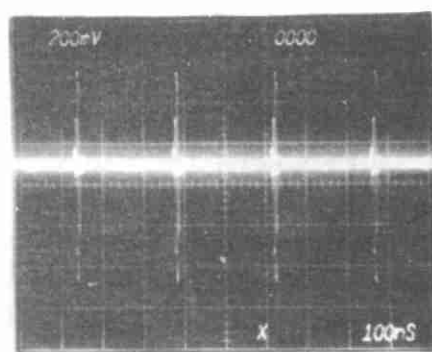


图8 800kHz 短脉冲序列波形

### (2)腔倒空器实测结果

在皮秒染料激光器中装上腔倒空器后,输出的激光脉冲重复频率可以按予选的频率降低。图9为倒空器输出的800kHz重复频率激光脉冲序列。锁相激光脉冲重复频率从82MHz降为800kHz。图10为展宽后倒空器输出单脉冲波形。

本文研制的腔倒空器驱动器已用于长春光机所811型皮秒染料激光器产品中。

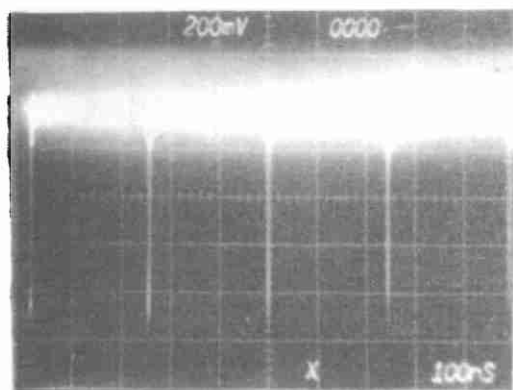


图9 800kHz 光脉冲序列波形

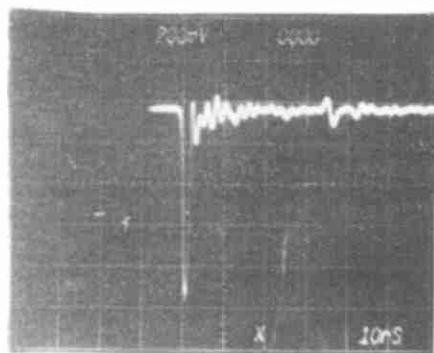


图10 倒空器输出单脉冲波形

**参 考 文 献**

- [1] 蓝信钜等, 激光技术. 长沙: 湖南科技出版社, 1983
- [2] 袁孝康等, 微带功率晶体管放大器. 北京: 人民邮电出版社, 1982
- [3] 徐介平, 声光器件的原理、设计和应用. 北京: 科学出版社, 1982
- [4] L. E. Drain, The Laser Doppler Technique. New York, Wiley, 1980

**Design of Driver of Cavity  
Dumper for Tunable Picosecond  
Pulsed Dye Laser System**

Zhao Shuangquan

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

**Abstract**

The paper describes the working principle of the cavity dumper which is used as output port of the picosecond pulsed dye laser system, and introduces the electronic technology to construct the driver of the cavity dumper. The experiment results getting from constructed instrument are presented.

**Key words:** Picosecond pulsed dye laser system, Cavity dumper driver, Phase-locked oscillator