

# 皮秒染料激光器的腔倒空的研究

杜惊雷

(东北电力学院, 吉林, 132012)

**摘要:** 本文叙述了腔倒空技术的原理并描述了皮秒染料激光器的腔倒空, 研制了新的高频脉冲声光调制器, 实现了皮秒染料激光器的腔倒空, 并获得满意的倒空效果。

**关键词:** 腔倒空 声光调制器 倒空效率 皮秒染料激光器

## Study of cavity dumping technology for picosecond dye laser

Du Jinglei

(North-East Institute of Electric Power Engineering)

**Abstract:** In this paper, the basic principles of cavity dumping and the cavity dumping for picosecond dye laser are described and a new high frequency acoustooptical pulse modulator for cavity dumping has been developed. The cavity dumping has been realized in a picosecond dye laser and the dumping effect is satisfied.

**Key words:** cavity dumping acoustooptic modulator dumping efficiency picosecond dye laser

### 一、引言

所谓腔倒空技术, 就是使激光器谐振腔内被倒空的激光能量在一个很短的时间全部输出, 可利用声光器件实现。即先在腔内进行无输出损耗激光振荡, 当腔内光能量达到饱和时, 利用声光器件突然使光束偏折出腔外, 全部输出腔内的激光能量。采用该技术不仅可压缩激光输出脉冲, 且还可大大提高激光输出脉冲的能量, 若把它与锁模技术结合起来将能得到最理想的激光脉冲。皮秒染料激光器是一种输出激光脉冲脉宽在皮秒量级波长连续可调的应用很广的激光器, 但目前国内生产的这类激光器其输出光脉冲的单脉冲能量都不很高, 分析表明若采用腔倒空技术则可大幅度提高这类激光器的单脉冲输出能量。本文介绍了我们研制的 389.5MHz 36° Y 切 LiNbO<sub>3</sub>/熔石英声光腔倒空器件, 并在国内首先实现了 LiNbO<sub>3</sub> 为换能器的高频声光脉冲调制器在皮秒染料激光器中的腔倒空, 为提高激光器的腔倒空的倒空效率开辟了途径。在实验中我们还测量了皮秒染料激光器腔倒空后的输出脉宽、倒空效率、及输出倒空脉冲能量, 实验表明, 当射频平均功率仅 0.2W 时, 倒空效率达到 40% 以上。若驱动功率为 0.5W, 将得到

70% 以上的倒空效率。

## 二、原 理

利用声光脉冲调制器来实现腔倒空的示意图如图 4, 其中  $M_1, M_2$  是全反球面镜,  $M_3$  是平面反射镜,  $K$  是声光调制器。由图中可以看出, 由于  $M_1, M_2$  是全反球面镜, 所以当声光调制器上未加射频电压时, 激光在腔内可以形成稳定的振荡而不能射出腔外, 若给调制器加上脉冲射频电压时, 则由于压电效应产生的超声波与激光的相互作用使激光束偏折出腔外。这里实现腔倒空的器件是声光脉冲调制器, 按照参量互作用观点<sup>[1]</sup>, 由于声光效应, 入射光波和介质中超声波相耦合而产生一系列具有复合频率的极化波, 其圆频率  $\omega'$  和波矢量  $\vec{k}'$  分别为

$$\begin{aligned} \omega' &= \omega + m\Omega \\ \vec{k}' &= \vec{k} + m\vec{K} \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \end{aligned} \quad (1)$$

这些极化波再转而激发具有这些复合频率的光辐射, 即各级衍射光。这里  $\vec{k}$  为入射光波矢量,  $\vec{K}$  为超声波波矢量,  $\omega$  为入射光的圆频率,  $\Omega$  为超声波圆频率。

因为腔内声光调制器是严格布拉格器件, 所以  $m = \pm 1$ , 即

$$\begin{aligned} \omega' &= \omega \pm \Omega \\ \vec{k}' &= \vec{k}' \pm \vec{K} \end{aligned} \quad (2)$$

设光束第一次通过声光调制器前, 光矢量为  $E_0 \cos \omega t$ , 通过声光调制器后其衍射光的圆频率为  $\omega - \Omega$ , (由声光波矢量图的图 1 可看出, 此时  $m = -1$ ) 光矢量变为  $\sqrt{\eta} E_0 \cos(\omega - \Omega)t$ , 通过声光调制器而未被衍射的那部分光(即 0 级光)的光矢量为  $\sqrt{1 - \eta} E_0 \cos \omega t$ 。这里  $\eta$  是声光调制器的衍射效率<sup>[2]</sup>, 我们研制的声光调制器的衍射效率

$$\eta = 300 M_1 P_a / H \quad (3)$$

式中,  $M_1$  是声光优值,  $P_a$  是超声功率,  $H$  是换能器的宽度。两束光经球面镜  $M_1$  反射后, 再次通过声光调制器并被衍射。光波  $\sqrt{\eta} E_0 \cos(\omega - \Omega)t$  通过声光器件的 0 级光部分为  $\sqrt{(1 - \eta)\eta} E_0 \cos(\omega - \Omega)t$ , 该束光将逸出腔外, 光波  $\sqrt{1 - \eta} E_0 \cos \omega t$  经第二次衍射后的衍射光部分为  $\sqrt{(1 - \eta)\eta} E_0 \cos(\omega + \Omega)t$  (此时  $m = +1$ , 所以衍射光频率为  $\omega + \Omega$ ), 也是出射光。因此总的输出光为<sup>[3]</sup>

$$E(s, t) = \sqrt{(1 - \eta)\eta} E_0 \cos(\omega - \Omega)t + \sqrt{(1 - \eta)\eta} E_0 \cos(\omega + \Omega)t \quad (4)$$

$E(s, t)$  是输出脉冲的光矢。输出光脉冲的光强为

$$I(t) = 2\eta(1 - \eta) I_0(t) (1 + \cos 2\Omega t) \quad (5)$$

则平均光强为<sup>[3]</sup>

$$I_{ave} = 2\eta(1 - \eta) / T \int_0^T I_0(1 + \cos 2\Omega t) dt \quad (6)$$

对于连续波激光器的腔倒空, 未倒空时腔内光强为  $I_0$ , 其不随时间变化, 输出脉冲的平均光强占腔内光强之比为

$$\eta' = 2\eta(1 - \eta) \quad (7)$$

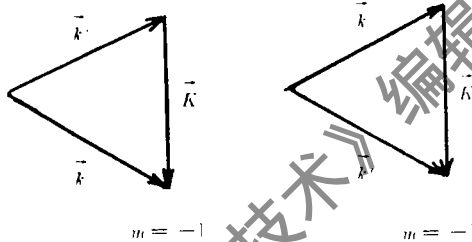


Fig. 1 Vector diagram of acoustic and optical wave

我们称  $\eta$  为连续波激光器的倒空效率。如果是锁模激光器的腔倒空, 则未倒空时腔内光强  $I_0(t)$  随时间变化, 输出光脉冲的最大光强与未倒空时腔内光脉冲的光强之比为

$$\eta = 4\eta(1 - \eta) \tag{8}$$

其为锁模激光器的最大倒空效率, 显然比连续波激光器的倒空效率大一倍。这是因为为提高倒空系统的效率, 我们总是使腔内光脉冲通过声光脉冲调制器时, 恰好超声波对光脉冲的调制作用最强烈, 这时调制项  $1 + \cos 2\Omega = 2$ , 从而输出的光脉冲瞬时光强达到最大, 即

$$I(t) = 4\eta(1 - \eta)I_0(t) \tag{9}$$

如图 2 所示,  $T$  为锁模光脉冲的重复周期, 为保证锁模脉冲通过声光器件时满足调制项为 2, 则应满足下式

$$T = 4\pi/2\Omega(m + 1/2) \quad (m \text{ 是一整数}) \tag{10}$$

这样腔内第二个锁模光脉冲不能输出, 而第三个锁模光脉冲又能获得最大输出, 使输出脉冲的重复频率降低, 并保证单脉冲输出。

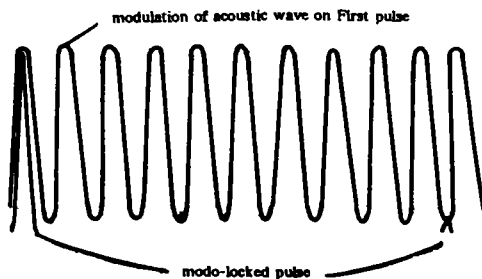


Fig. 2 Acoustic modulation wave and mode-locked optical pulses

### 三、皮秒染料激光器的腔倒空系统

#### 1. 高频声光脉冲调制器的研制

前文已经提到高频声光脉冲调制器是实现腔倒空的关键器件, 但这里所用到的声光调制器的工作频率很高, 其工作频率为 389.5MHz, 因此该器件的制作十分困难。过去我们采用  $\text{SnO}_2$  为换能器材料, 但因其机电耦合系数较低, 所以难以提高整个器件的效率。后来我们采用  $36^\circ \text{Y}$  切  $\text{LiNbO}_3$  为换能器材料, 并考虑到键合层对器件的影响, 放弃了采用铟为键合层的传统作法, 而用锡作为器件的键合层(锡对超声波的吸收远小于铟<sup>[4]</sup>), 这样降低了声吸收, 在器件制作方面, 提高了电声转换效率。以  $36^\circ \text{Y}$  切  $\text{LiNbO}_3$  为换能器材料的这样高频率的体波声光器件在国内鲜有所见, 制作工艺十分复杂, 但我们最终克服了工艺上的困难制成了高效声光调制器。

该声光器件的声光介质为熔石英, 换能器的换能片厚度为  $7.5\mu\text{m}$ , 底电极为银, 顶电极为金, 键合层为锡, 电极引线采用超声焊接, 声光介质的形状采用菱形(即使光照到器件时满足布儒斯特角条件, 以使光的损耗最小)。

光被汇聚到调制器上, 光束束腰为  $40\mu\text{m}$ , 声光相互作用距离为  $1.82\text{mm}$ , 激光渡越时间为  $5.7\text{ns}$ , 如图 3 所示,  $\theta_B$  为布拉格角。

#### 2. 腔倒空系统的驱动电源

腔倒空系统的驱动器包括功率放大器、锁定振荡器、脉冲调制电路、显示电路及稳压电源等部分。我们所使用的电源是长春光机所八室自制的, 该电源输出射频脉冲的脉宽为  $10\text{ns}$ , 与

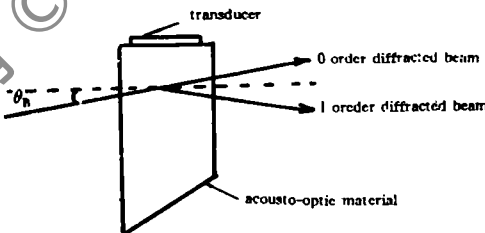


Fig. 3 Acousto-optic pulse modulator

声光调制器联接(脉冲重复频率为 800kHz 时)后的输出平均功率为 0.2W。

### 3. 腔倒空系统的总体结构

同步泵浦染料激光器的输出是由锁模氩离子激光去同步泵浦染料而得到的皮秒光脉冲(如图 4 所示)。我们使用长春光机所生产的 812 型染料激光器,其泵浦源氩离子激光器腔长 1.82m,它的声光锁模器的驱动频率为 41MHz,该器件为拉曼-奈斯衍射的声光调制器,它被放在恒温盒内。氩离子激光器的输出脉宽约 200ps,脉冲重复频率为 82MHz,用它去同步泵浦若丹明 6G 可获得几个 ps 的光脉冲。腔倒空系统位于激光器的前端,依前文所述声光器件的超声圆频率  $\Omega =$

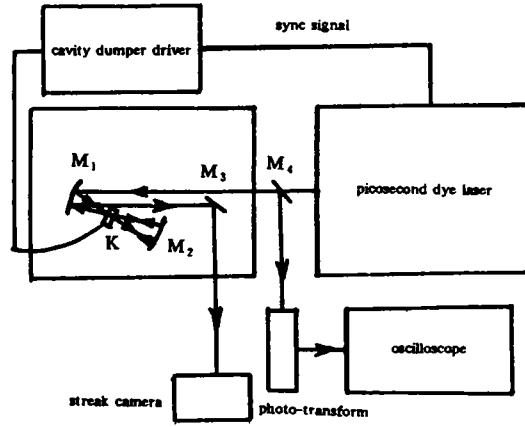


Fig. 4 Experimental apparatus of cavity dumping for picosecond dye laser

$(m + \frac{1}{2})\omega$  ( $\omega$  为锁模脉冲的重复圆频率),为获得较短的上升时间,我们选取为 389.5MHz,即  $m=9$ ,另外门控信号的相位应与锁模脉冲相位匹配以使门控信号最强时恰好光脉冲通过。

## 四、实验结果及讨论

腔倒空的关键指标是倒空效率,即输出最大光强与腔内光强之比,对锁模激光器的最大倒空效率  $\eta' = 4\eta(1 - \eta)$ ,实际测量要比此小。测试方法是腔内光强变化而获得,图 5 是测得的



Fig. 5 Intracavity intensity variation curve

倒空腔内光强变化曲线。图 6 是倒空输出波形(由 7904 型示波器监测),这时的射频驱动源平均功率约为 0.2W,重复频率为 800kHz(脉冲的重复频率在单脉冲到 4MHz 内可调)。输出光脉冲的脉宽由 C1370 条纹相机测得,约 18ps,单脉冲能量约 13nJ,比未加倒空系统时单脉冲能量高 10 倍多。

从上述实验中可以看到,在较小的驱动功率情况下,即可获得 40% 以上的倒空效率,若将驱动功率提高至 0.5W,由于声光调制器的衍射效率与外加射频功率成正比,分析表明当驱动功率提高至 0.5W 时,器件的衍射效率将提高 2 倍多,相应可获得约 70% 的倒空效率和更高的单脉冲能量。要实现这一目的可通过加入匹配网络使压电换能器与驱动源匹配以提高电声转换效率而获得,也可使用输出功率较大的驱动源。

图 6 是倒空输出波形(由 7904 型示波器监测),这时的射频驱动源平均功率约为 0.2W,重复频率为 800kHz(脉冲的重复频率在单脉冲到 4MHz 内可调)。输出光脉冲的脉宽由 C1370 条纹相机测得,约 18ps,单脉冲能量约 13nJ,比未加倒空系统时单脉冲能量高 10 倍多。

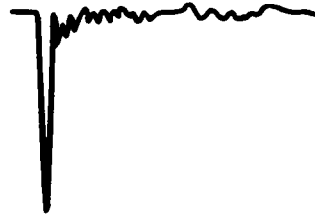


Fig. 6 Dumping output pulse

## 五、结束语

本文通过对腔倒空原理的分析,研制了 389.5MHz 的 36°Y 切 LiNbO<sub>3</sub>/熔石英声光调制

# 小型激光多普勒干涉系统的研究

杨安 中岛健\*

(中国科学院西安光学精密机械研究所光学材料部, 西安, 710068)

**摘要:** 本文就半导体激光小型多普勒干涉系统的研制及作为速度测量系统的测量精度和实用性进行了探讨。

**关键词:** 半导体激光 多普勒 干涉

## The study of a compact laser diode doppler interference system

*Yan An, K Nakajima\**

(Xian Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** This paper presents a compact laser diode doppler interference system used in velocity measurement. The velocity measurement accuracy and application of the system are discussed.

**Key words:** laser-diode doppler interference

\* 日本神户大学工学部教授。

器,并用于同步泵浦染料激光器的腔倒空中。获得了满意的效果,并指出了进一步提高倒空效率的途径。

魏政新,荆宝全,李玉斌,温忠义等同志给予了大力帮助,在此谨表谢意。

### 参 考 文 献

- 1 徐介平. 声光器件的原理、设计和应用. 北京: 科学出版社, 1982: 45
- 2 Maydan D. J A P, 1970; 41: 1552
- 3 Johnson R H. IEEE J Q E, 1973; QE-9: 255
- 4 徐介平. 北京工业大学学报, 1986; 12(3): 43

\* \* \*  
作者简介: 杜惊雷, 男, 1964年9月出生。讲师。现从事声、光方面的的科研和教学工作。

收稿日期: 1993-09-03