

## 倒腔法染料激光器的实验研究

王联治 姚鑫兹 邱元武

(中国科学院物理研究所)

1980年8月26日收到

染料激光器已经在很多领域内得到了广泛的应用。通常的脉冲光泵染料激光器，其输出功率为数十瓦到数百瓦量级，脉冲宽度为微秒量级。但在很多研究领域里，希望有高脉冲功率和窄脉宽的染料激光输出。由于染料上能级寿命很短（例如若丹明 6G 的单态上能级寿命为  $5.5 \times 10^{-9}$  秒），很难应用激光腔内  $Q$  开关的方法获得高功率脉冲，而采用倒腔法却是获得高功率、短脉冲的有效手段。本文介绍用倒腔法对染料激光器进行的实验研究。使用的染料为若丹明 6G，浓度为  $10^{-4}$  摩尔，得到 5900 埃波长的倒腔脉冲，脉冲宽度为 11 毫微秒，输出能量为 50 毫焦耳，实验结果与理论基本一致。本文还分析了得到高效率倒腔激光输出的关键问题。

### 一、基本原理

用倒腔法得到高功率、短脉冲激光输出已在几种激光器上得到结果。在染料激光器上也已进行了初步的研究<sup>[1]</sup>。

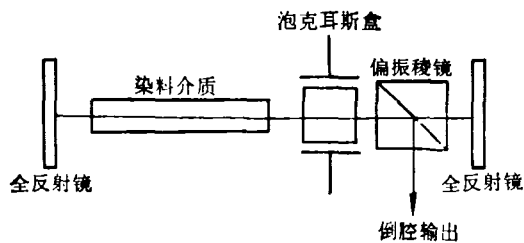


图 1

染料激光器的倒腔原理如图 1 所示。它与

通常的激光谐振腔不同，构成谐振腔的两反射镜均为全反射镜。在腔内安置有泡克耳斯盒和偏振稜镜组成倒腔元件，来自染料介质受激发射的光子在全反射腔内来回振荡。随着光泵过程不断地积累光子，而腔外几乎没有激光输出。在这一过程中，泡克耳斯盒和偏振稜镜保证谐振腔处于高  $Q$  值工作状态。当腔内光子数密度达到最大值时，在泡克耳斯盒上加半波电压。当偏振光通过它后，偏振面转动  $90^\circ$ ，从而被偏振稜镜在垂直光轴方向输出，直到腔内所有光子被全部倒完为止。因此输出激光脉冲的宽度为

$$T = \frac{2L}{c}, \quad (1)$$

其中  $L$  是腔长， $c$  是光速。在泡克耳斯盒上电压被关掉以前，由于谐振腔处于高输出损耗的状态，因此一旦腔内光子被倒空，就几乎没有激光再输出。

染料是一种四能级系统，R. G. Morton<sup>[1]</sup> 等为了分析倒腔效果，使用了一组最简化的速率方程，并给出了腔内光子数密度的近似解析表达式。得到相对的倒腔效率为

$$\epsilon = \frac{E^D}{E^N} = \frac{(2L/c)\Phi_p^D}{\tau_L \Phi_p^N}, \quad (2)$$

其中  $E^D$ ,  $E^N$  是激光输出能量 ( $D$  代表倒腔法,  $N$  代表通常法)。  $\Phi_p^D$ ,  $\Phi_p^N$  是腔内最大光子数密度,  $\tau_L$  是通常法的激光脉冲宽度。因此为了得到高效率的倒腔输出, 除适当增加腔长  $L$  外, 更为关键的是提高倒腔法的腔内光子数密度  $\Phi_p^D$ 。在倒腔法染料激光器中, 影响腔内光子数密度的因素是: (1)染料介质的单态自吸收; (2)染

料介质三重态对激光的吸收；(3)泡克耳斯盒，偏振棱镜等腔内光学元件的插入损耗。除损耗因素(1),(2)是染料介质的固有损耗外，提高倒腔法效率的关键问题是尽量减少激光器的插入损耗。文献[1]估计了在插入损耗(即光子在腔内来回一次损失的百分数)为0.1时，倒腔法腔内光子数密度为通常法光子数密度的数十倍。因此在实验中，仔细地考虑插入损耗之后是完全有可能得到高效率的倒腔激光输出。

## 二、实验方法和结果

为了在等离子体诊断技术中进行共振荧光光谱的测量(如溅射杂质诊断和现场诊断)和色心激光器中作光泵激光光源。我们研究了高功率、短脉冲倒腔法染料激光器，实验装置如图2所示。

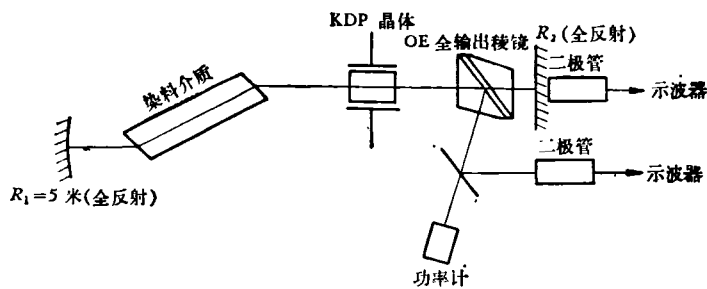


图2 实验装置

为了提高高功率的激光输出，采用短脉冲的光泵光源是非常必要的。为此我们选用的光源是同轴式圆柱灯。共轴灯管是由两个石英管组成，内管 $\phi$ 为15和13毫米，外管 $\phi$ 为19和17毫米两种规格。内外管与电极是同轴式装配结构，管间距离1毫米，放电长度为35厘米，镀银聚光镜是圆筒式的，直径为35毫米，长为300毫米。若丹明6G乙醇染料溶液浓度为 $10^{-4}$ 摩尔。1毫米管间隙区是放电室，通有流动的高纯氙气，气压为50—80托。聚光镜与外管之间通有流动蒸馏水，一方面冷却共轴灯管，另一方面增强了共轴灯承受强电流放电不致引起碎裂的能力。由于染料池较长，为防止自振

物理

激光产生，并又能产生偏振激光，整个染料池两端密封成布儒斯特角窗口。

激光器的谐振腔是由两个镀多层介质膜的全反射镜组成，输出端反射镜是平面，另一个是曲率半径为5米的凹球面。这样保证在长腔长工作时，成为近半共焦结构。腔内高斯光束会聚于偏振棱镜附近，以防止腔内光子溢出腔外。泡克耳斯盒是由KDP晶体组成的电光开关。在我们的条件下半波电压为9千伏。偏振棱镜是格兰型OE全输出棱镜，孔径为18毫米，这样尽量减少了偏振棱镜的插入损耗，实验测得所使用棱镜的透过率为88%。

从偏振棱镜倒出的 $o$ 光激光通过功率计记录能量，用强流二极管在OK-19型示波器上记录脉冲波形。我们还从镜 $R_2$ 漏出的少量腔内光子记录了腔内光脉冲信号。整个放电过程的同步方框图由图3表示。

我们的实验取得了一些结果。图4是由OK-19型示波器摄得的同步信号，获得了腔内光脉冲信号与泡克耳斯盒开关信号同步很好的效果。图5给出了谐振腔内光脉冲信号。其脉冲半宽度约为0.9微秒。图6给出了在腔内光子数密度达到峰值时加上同步泡克耳斯盒电压所得到的倒腔激光输出脉冲信号。激

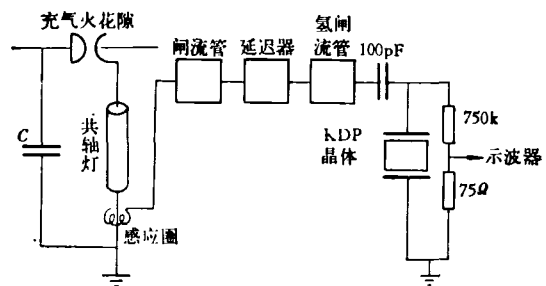


图3 放电过程的同步方框图

光波长为5900埃，输出为50毫焦耳，脉冲宽度为11毫微秒。根据理论公式(1)，对腔长 $L=180$ 厘米进行计算，得到 $T=12$ 毫微秒。实验结果与理论计算基本一致。由此计算得到输出激光功率约4兆瓦。在实验中我们也应用了

$R_2 = 40\%$  反射率的谐振腔, 测量了通常方式染料激光器的输出信号。

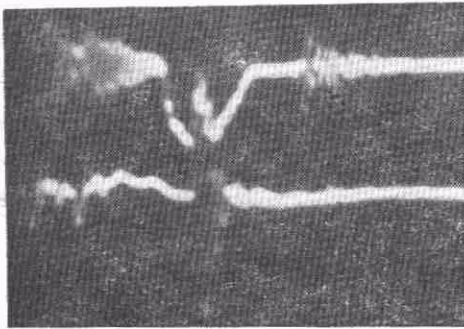


图 4 放电同步信号, 在照片中, 上线为染料倒腔激光腔内光脉冲信号; 下线为泡克尔斯盒电压分压后的信号

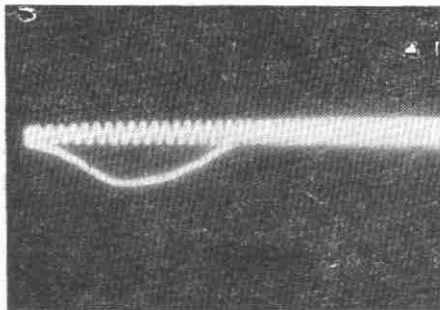


图 5 谐振腔内光脉冲信号, 时标 0.1 微秒

实验说明, 倒腔法激光输出的形状与泡克尔斯盒的正确开关时间有密切关系。图 6(a) 和 (c) 给出了开关脉冲超前和迟后两种情况倒腔输出信号。当开关脉冲超前腔内最大光子数密度时, 会出现明显的多峰现象。而当开关脉冲迟后腔内最大光子数密度时, 会使倒腔激光脉冲明显地加宽。只有当开关脉冲与腔内最大光子数密度同步时, 才能得到比较好的信号输出, 正如图 6(b) 所示。

综上所述, 把倒腔法应用于染料激光器, 可以得到高功率、短脉冲的激光输出。脉冲宽度完全取决于腔长, 可以得到从几个毫微秒到 100 毫微秒的脉冲。倒腔法激光输出的效率主要由腔内光学元件的插入损耗决定。制作低损耗泡克尔斯盒和偏振稜镜非常重要。

还要特别指出的是, 泡克尔斯盒高压打开的时间要远小于倒腔脉宽。当高压打开时间 (即上升时间) 与倒腔脉宽可相比时, 会严重影

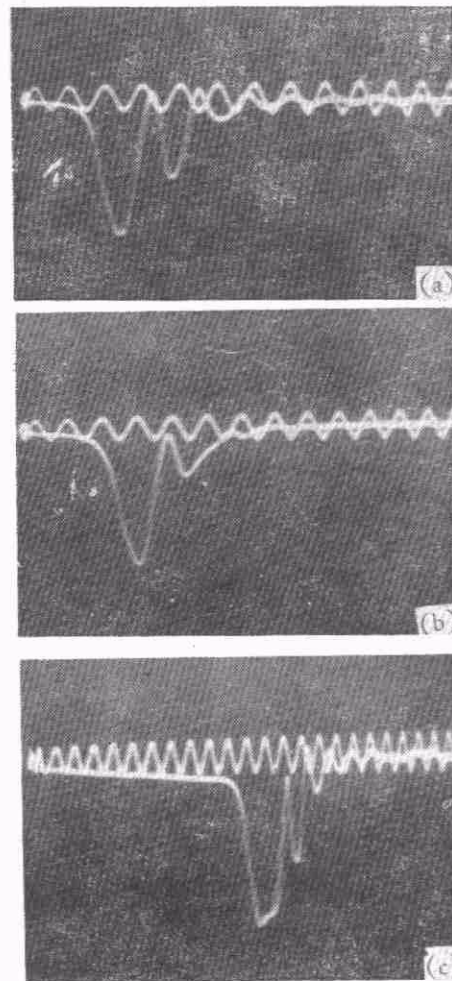


图 6 倒腔激光腔冲信号

- (a) 开关脉冲超前腔内最大光子数;
- (b) 开关脉冲正好同步腔内最大光子数;
- (c) 开关脉冲迟后腔内最大光子数密度

响倒腔的效率。为此我们已研制出三电极充气同轴火花隙组合开关作高压脉冲开关。其脉冲上升前沿可达 5 毫微秒, 甚至短到 1—2 毫微秒, 这样就较大地提高了倒腔效率。另外如果染料激光器需要调谐输出, 可把衍射光栅、法拉第旋转器、标准具等调谐元件应用到倒腔染料激光器。

### 参 考 文 献

- [1] R. G. Morton et al., *Appl. Opt.*, 17-20 (1978), 3268.