中国激光
第11卷 第4期

# 闪光灯泵浦平板自波导染料激光器

汤星里 陶永祥 赵福康 李凤英 陈莉菲 金庭臻

(中国科学院上海光机所)

**提要**：本文描述一台四灯泵浦平板自波导染料激光器，以30次/秒脉冲重复率运转时平均输出功率达3瓦。利用泵浦脉冲在激活介质内所造成的折射率梯度的非均匀分布形成激光波导腔，充分利用了染料溶液的高增益区，由此获得高效率和高功率输出。

## A planar self-waveguiding flashlamp-pumped dye laser

*Tang Xingli, Tao Yongxiang, Zhao Fukang, Li Fengying, Chen Lifei, Jin Tingzhen*

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

**Abstract**: A planar self-waveguiding dye laser driven by a four xenon flashlamp system with an average output power of 3 W at 30 pps is presented. The laser takes advantage of the non-uniform distibutrion of the refractive index by the pumping pulse in the active medium, and allows full utilization of the highest gain region of the dye solution.

## 一、引　言

在研制可调谐染料激光器中，普遍遇到的困难之一是染料溶液对泵浦光的非均匀吸收所产生的非均匀折射率梯度，它迫使激光振荡自高泵浦区向低泵浦区（即自低折射率区向高折射率区）发生弯曲形成所谓使有效激活区大大减小的自聚焦效应。再加浓度较高的激光染料溶液在其吸收峰附近的吸收长度都比较小，如浓度为$10^{-3}$摩尔/升的R-6G的吸收长度小于0.1毫米。因此，高增益区仅仅被限制在管壁附近只有零点几毫米厚的薄层区间内。为了减轻自聚焦效应，一般就只能使用低浓度的激光染料，让激光器工作在低增益区内。

鉴于这些原因，有人认为只有想法使热梯度变成一种补偿效应，自己补偿自己，才是解决这一困难的较好办法。于是便提出了利用泵浦脉冲所形成的染料溶液折射率非均匀分布，使高浓度的染料溶液自身形成一条激光波导，让激光在其内部被迫作波导传播[1,2]。采用平板自波导结构，不仅能达到上述目的，而且还能将激活体积做得比较大，获得高的平均功率输出[3]。激光束自波导原理如图1所示。染料吸收泵光后，在两壁与轴线之间形成非均匀折射率梯度，由两壁分别向轴线接近时，泵光逐渐减弱，折射率逐渐增大。这样，在两壁内表面附近起振，与壁内表

收稿日期：1983年2月16日。

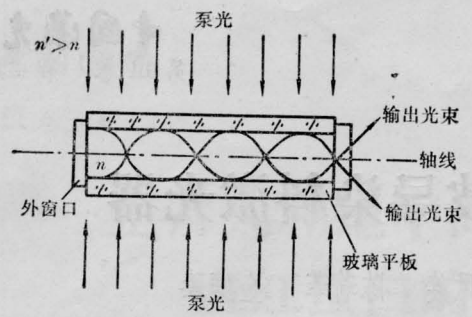



图1　激光在平板矩形截面染料盒内的波导原理

面相平行的光线在传播过程中便以越来越大的曲率弯向折射率高的区域；穿过轴线以后折射率逐渐减小，光线便以逐渐减小的曲率继续向对面壁弯曲。在达到对面内壁时几乎接近掠入射状态，从而完成了在两壁之间的自波导低损耗传播。为了使放大系数达到最大，染料盒二板间距必须限制在最高增益区内，它约为染料在其峰值吸收波长处吸收长度的几倍。以浓度为$10^{-3}$摩尔/升的R-6G而言，这个距离约为0.4～0.5毫米。

## 二、灯泵平板自波导染料激光器的结构

1．波导腔的结构

我们实验的平板自波导腔的结构如图2所示。染料盒的尺寸为110×0.5×35毫米。盒板和窗口均为$K_9$玻璃。

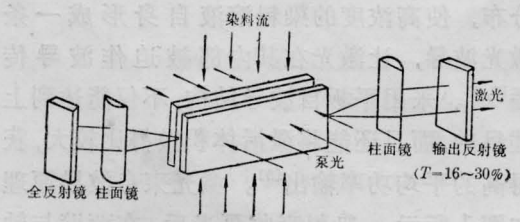



图2　染料平板自波导腔的结构

2．染料循环系统和闪光灯泵浦系统

染料循环采用泵压5公斤/厘米²、流量达0.2升/秒的微型齿轮泵。染料溶液泵入染料盒前用18-3型滤球滤去液内微粒和气泡。染料盒进口用一只打有250只$\phi$1.5毫米小孔的均流罩进行均流。

染料盒的二个35×110毫米的外侧面分别用二支相互串联的$\phi$3.5×110毫米的短脉冲氙灯进行泵浦。每路二灯串联回路的储能电容为1.41微法，充电电压为0～15千伏。因此，四支灯的最高放电总能量可达337.5焦耳。脉冲重复频率为0.5～100次/秒。

## 三、激光器的输出特性

1．单次激光能量输出特性

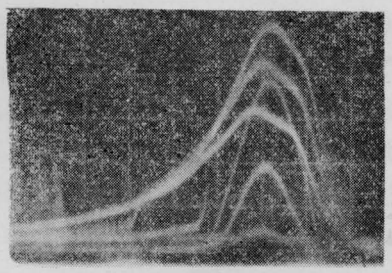
用不同浓度的R-6G酒精溶液作激光介质，用相距295毫米，波长在400～800毫微米的一块全反射镜与一块透过率为84%的输出镜组成谐振腔，我们得到了这种激光器峰值在595毫微米处的宽带（2.5～3.0毫微米宽）单次能量输出特性，见图3所示。

激光能量用本所试制的$\phi$15炭斗配AC15/6光电检流计测量，仪器的灵敏度为0.823毫米/毫焦耳。由图可见单次输出能量随染料浓度的增加而增加，这是波导染料激光器的特点之一。在没有最佳化的情况下，这种激光器的总体效率达到0.17%。改变输出镜的透过率，激光输出能量随透过率增加而增加。调动柱面镜的聚焦情况（$f$），激光输出能量也随之变化，见图4所示。

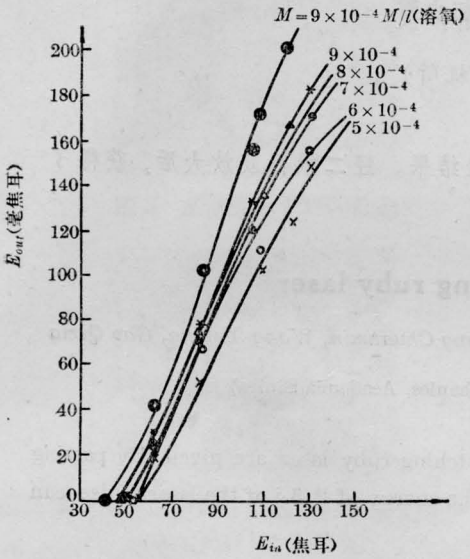
2．重复频率特性

① 激光自波导效应的观察

器件的热波导效应在脉冲重复频率由低（1次/秒）向高（30次/秒）增加时渐趋明显，这通过对单个激光脉冲波形幅值变化可以获得证明。我们发现在一定范围内，脉冲重复频率增加，激光输出脉冲的幅值也随之增大，见图5所示。这充分显示了热波导效应对光线弯曲损耗的强烈补偿作用，使激光效率明显提高。



(a)




(b)

图3 单次激光输出特性

(a) 泵浦灯光波形(三只脉宽大的)和相应的激光波形(三只脉宽窄的),时标2微秒/厘米;
(b) 不同浓度R-6G酒精溶液的激光输出特性(输出镜 $T=84\%$)

② 平均功率特性

当R-6G的浓度 $n=8\times10^{-4}$ 摩尔/升,激光器以脉冲重复频率 $f=30$ 次/秒工作时,我们用JGK-3型激光功率计测定了不同输入功率下激光输出的平均功率,见图6。当输入功率达3600瓦时,激光平均输出功率达3瓦以上。

## 四、结　论

我们做成了一种简单而有效的闪光灯泵浦染料激光器,这种器件的脉冲输出能量大,

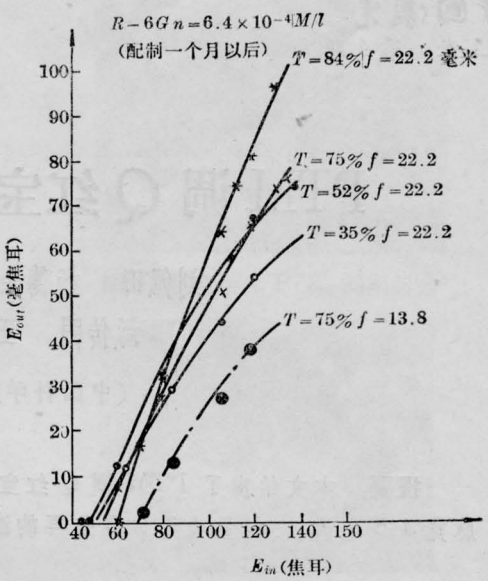



图4 输出镜的透过率,柱面镜的聚焦对激光能量的影响

(图中所标 $f$ 为柱面镜母线到窗口内染料液面的距离)

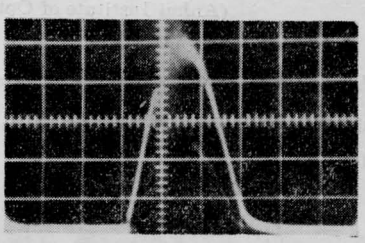


图5 不同频率的激光输出波形

$V_D=7$ 千伏,SS-5505示波器的灵敏度为1.7伏/厘米,时标为2.25微秒/厘米。上面大波形为 $f=11$ 次/秒时的激光波形,下面小波形为 $f=1$ 次/秒时的激光波形。

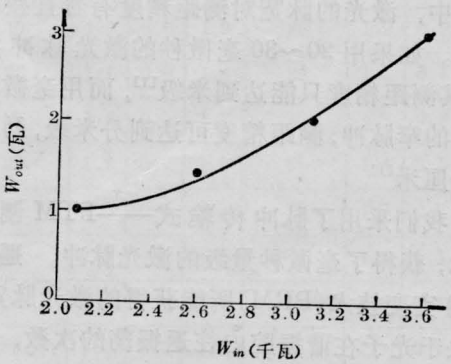



图6 激光功率输出特性

(下转第224页)

$$f_{(E)}=[(2N_0/\sqrt{\pi})(kT)^{3/2}]\times\sqrt{E}\cdot\exp(-E/kT)$$

是电子分布函数，$N_0$ 是激光打靶后形成的总电子数，$k$ 是玻尔兹曼常数。积分(3)式并利用(2)式可近似地得到

$$V=\frac{e}{\sqrt{\pi}}\frac{N_0\exp(-eV/kT)}{c}\times\left(\frac{eV}{kT}\right)^{1/2}\cdot\left(1+\frac{kT}{2eV}\right) \quad (4)$$

(4)式就是靶电压与等离子体电子温度的关系式，靶电压与电子温度成正比。其中 $N_0$ 用打靶后靶上烧蚀的小坑的大小估算。本实验中的 $N_0$ 约为 $10^{17}$ 量级。图4画出了 $N_0=10^{17}$、$C=10^{-12}$ 法拉时的 $T$-$V$ 关系。图3所示的几个靶电压值也在图4中标出，它们对应的电子温度在197～453电子伏之间，与其他方法测得的 $T$ 值基本一致。

为了克服或减小靶电压对诊断仪器的影响，除了各种诊断仪器与靶室及其内部装置电绝缘外，诊断仪器的接"地"点应与靶室的接"地"点分开或靶室根本不接"地"。

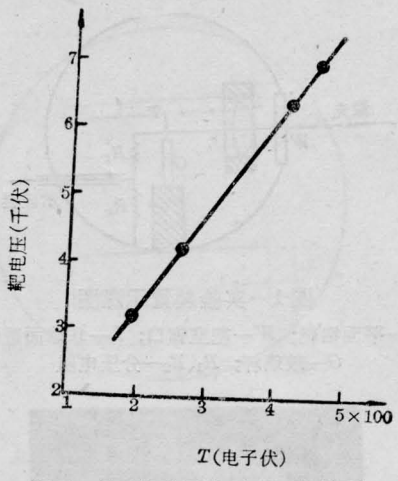



图4 按(4)式画出的 $T$-$V$ 关系
(黑点是图3中测得的靶电压值)

参加本实验的还有田莉、戴美兰、韦小春、樊根良和应影等同志。

## 参 考 文 献

[1] C. W. Mendel *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1975, **34**, 859.

[2] 邓锡铭等;《光学学报》, 1981, **1**, No. 6, 553.

(上接第207页)

平均输出功率高。在这种器件中，由热引起的染料溶液的折射率梯度很方便地被用来实现振荡激光的低损耗，自波导传播，使得染料流的湍动和闪光灯的冲击波对激光特性的影响都近于可以忽略。这种矩形截面平板自波导结构，只要保证二板间距为染料在峰值吸收波长上吸收长度的几倍，就可充分利用被泵溶液的最高反转区，并保持一个大的有效激活体积和与泵浦源的有效耦合。进一步改善这种激光器，对染料盒壁冷却；让盒板间距进一步最佳化；更精确地调整柱面镜的位置等，估计将进一步提高这种激光器的效率，输出能量和平均功率。

## 参 考 文 献

[1] P. Burlamacchi *et al.*; *Opt. Commu.*, 1973, **9**, No. 1, 31～34.

[2] P. Burlamacchi *et al.*; *Opt. Commu.*, 1974, **11**, No. 2, 109～111.

[3] P. Mazzimghi *et al.*; *IEEE J. Quant.* Electr., 1981, **QE-17**, No. 11, 2245～2248.