

闪光灯泵浦波导染料激光器的性能研究

汤星里 陶永祥 张朝阳* 赵福泉 李凤英 陈莉菲 金庭臻

(中国科学院上海光机所)

提要: 在闪光灯泵浦平板自波导染料激光器上,用掠入射光栅调频腔获得了窄线宽的调谐稳定输出。调谐范围 460 \AA , 调频效率在 85% 以上, 窄线 8 GHz (FWHM), 弧矢发散角为 13 mrad 。

Investigation on the characteristics of the flash-lamp pumped planar waveguide dye laser

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

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

Abstract: Tuning characteristics of the planar waveguide dye laser driven by xenon flashlamps are described. With a planar structure, a narrow bandwidth of down to 8 GHz (FWHM), tuning range of 460 \AA and tuning efficiency of 85% have been obtained using Rhodamine 6G. The beam divergency of this laser has been measured.

高平均功率可调谐染料激光器在同位素分离、光化学、大气检测等方面有重要意义,实用价值大,是当今染料激光器的发展方向之一。

我们在已得到的灯泵浦染料平板激光器的基础上^[1,2],对它的光谱特性、调谐特性、输出光束方向性、线宽压窄等性能进行了实验研究。

一、实验装置及其结构参数

实验装置如图 1 所示。激光头部分与文献 [1] 完全相同。依据器件的结构(矩形截

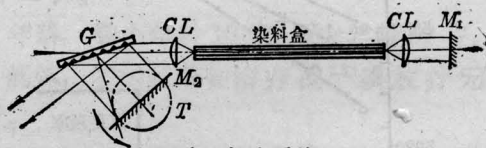


图 1 实验系统

M_2 —介质膜平板全反镜; G —光栅; T —镜座转台

面,纵横比大)、波导特性、高增益及场分布、光束输出基本上是单横模等特性。我们采用与之相适宜的掠射光栅调频腔,选用刻线密度高的全息衍射光栅 2400 line/mm ,工作面积 $30 \times 60 \text{ mm}^2$ 。谐振调频腔平面反射镜 M_1 、

收稿日期:1983年12月28日;修改稿收到日期:1984年8月27日。

* 现在浙江大学。

M_2 镀宽带多层介质膜, 中心波长 6000 \AA , M_2 反射率 $R \geq 98\%$ 。 M_2 置于转盘 T 上, 转盘由蜗轮蜗杆机构传动, 蜗杆可以手动也可由马达带动扫描, 转盘每转一周误差 $< 0.01^\circ$ 。

二、波导染料激光器的性能及测量方法

1. 宽带输出特性

将调频腔的光栅用透过率为 84% 的平面镜代替就得到宽带输出。对于若丹明 6G 酒精溶液, 宽带输出带宽为 80 \AA 左右。随着泵浦能量的增加, 峰值波长向短波方向移动。随着重复频率的提高, 染料温度特性使峰波长向长波方向移动, 如图 2 所示。我们还看到了浓度增长, 峰波长红移的现象。注意到若丹明 6G 荧光峰波长为 5850 \AA , 但我们所得激光峰波长均在 5920 \AA 以上, 这除了高浓度影响外, 还由于波导效应拉长了激光在染料中的传播距离, 使染料的自吸收效应加强的结果。

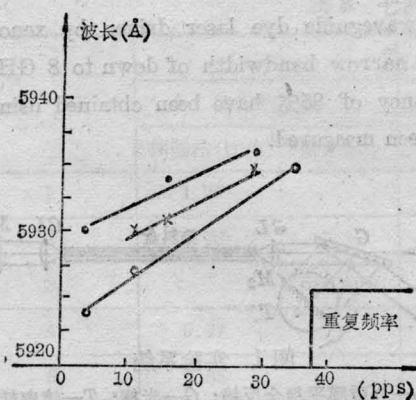


图 2 峰波长的频率特性

三线输入能量分别是 71J、82J 和 93J

2. 波长调谐范围和调频效率

以高灵敏炭斗为能量接收元件, 圆盘单色仪为波长监视, 转动 M_2 同时同步监测波长及输出能量, 便获得调谐曲线。定义窄带峰输出能量与相同泵浦条件下的宽带输出能量之比为调频效率。

随着泵浦能量的增加, 光栅调频效率迅速上升。但鉴于光栅的插入损耗, 我们发现本器件在光栅入射角为 80° 左右, 输入能量在 150J 以上时, 调频效率较高, 达 85% 左右; 入射角小于 70° 或大于 85° 时逐渐下降。如提高泵浦能量、重复频率并选择合适浓度以及增大光栅允许的入射角等, 可提高效率, 相应的调频范围也增加, 如表 1 所示, 全范围线宽小于 0.3 \AA (25 GHz), 调谐曲线如图 3 所示。

表 1 调频范围(R6G+乙醇)

(输入能量 145J/P)

浓度 M/l	重复率 (pps)	波长范围 (nm)	峰波长 (nm)	缝宽 (mm)	相对能量输出
9×10^{-4}	1.5	578~613	598.0	0.3	100
8×10^{-4}	1	578~611	594.5	0.55	85
6×10^{-4}	4	577~617	598.5	0.3	75
5×10^{-4}	1.5	576~609	592.0	0.3	60
4×10^{-4}	1	576~600	591.5	0.55	50

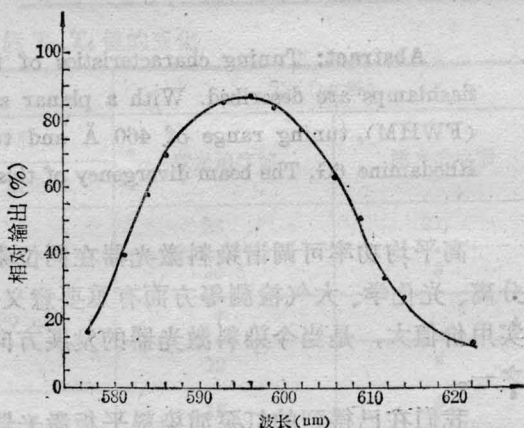


图 3 光栅调谐曲线

3. 染料激光器的子午和弧矢方向性

定义光束发散角内所占能量为总输出的 80% 。腔长 $L = 315 \text{ mm}$ 时, 子午发散角 $\Delta\alpha_z = 8 \text{ mrad}$, 弧矢发散角 $\Delta\alpha_{\text{弧}} = 18 \text{ mrad}$; 当 $L = 625 \text{ mm}$ 时, $\Delta\alpha_z = 7.5 \text{ mrad}$, $\Delta\alpha_{\text{弧}} = 16 \text{ mrad}$ 。随着输入泵浦能量的增加, 波导效应加强, 子午方向性明显改善。图 4 为一定角度内能量

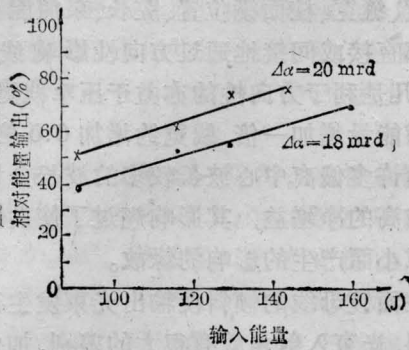


图4 随输入能量增加,一定立体角内输出光束占总输出能量比增加

比例随泵浦变化的情况。重复率增加,也有利于方向性的改善。

方向性还受谐振腔反馈情况所影响,见表2。相同泵浦条件下,染料浓度低时输出光束中低阶漏反弹球模成分较多,方向性较差。相同浓度下,染料盒的缝宽增加,它对柱面镜的角宽度增加,方向性变差。但缝宽太小器件调整精度要求很高,也不易获得更好的方向性。腔镜的倾斜会引起器件效率的降低,方向性变坏。此外,柱面镜焦距越长,调整精度越高,缝对它的角宽度越小,方向性越好。同时,柱面镜不同方向的调整误差对发散性也有不同的影响。

窄带运转时,由于光栅的色散作用,不同频率分量的光子以相应的不同入射角入射,均可得到相同的反馈耦合,如图5所示。只要其增益足够,都可获得振荡。这样,窄带工作时对发散较大的光线亦有输出,使方向性

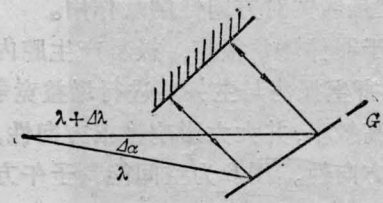
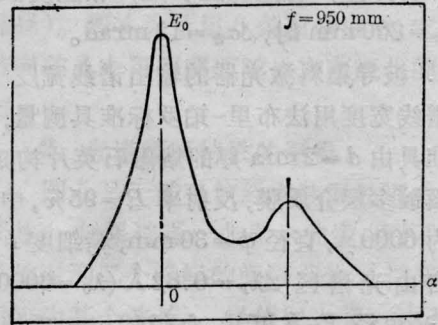
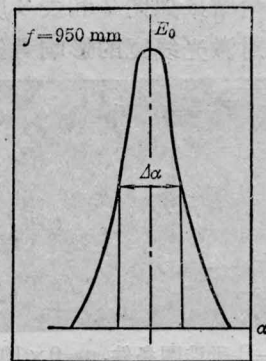


图5



(a)



(b)

图6 子午方向性

(a) 寄生振荡使子午方向的方向性变差
(b) 子午方向空间能量分布

表2 弧矢方向性测量结果

柱面镜距液面距离前、后 (mm)	腔长 (mm)	工作电压 V_D (kV)	发散角 (mrad)	备注	弧矢方向空间能量分布
19; 22	625	10.6	15	$8 \times 10^{-4} M/l$ $D=0.55 \text{ mm}$	
19.5; 22	315	10.0	18		
22; 22	315	10.0	13		
22; 22	365	10.6	21	窄带输出	
22; 22.5	310	10.0	21	$4 \times 10^{-4} M/l$	
22; 22	310	10.0	19	$5 \times 10^{-4} M/l$ $D=0.3 \text{ mm}$	

变差,这是线宽对方向性的反作用。

由于器件增益很高,极易产生腔内寄生振荡。寄生振荡与主振荡进行增益竞争,不利于提高效率,并大大影响输出方向性,特别是子午方向性。图6为空间量子子午方向分布图。较小的能量峰为染料盒窗与全反腔镜构成振荡产生,寄生腔腔长短,相应发散角大, $L_{寄}=200\text{ mm}$ 时, $\Delta\alpha_{寄}=12\text{ mrad}$ 。

4. 波导染料激光器的输出谱线宽度

谱线宽度用法布里-珀罗标准具测量,测量标准具由 $d=2\text{ mm}$ 厚的熔融石英片构成,反射面镀多层介质膜,反射率 $R=95\%$,中心波长为 6000 \AA ,直径 $\phi=30\text{ mm}$,精细度 $F=60$,自由光谱区 $\Delta\lambda_F=0.62\text{ \AA}$ ($\lambda_0=6000\text{ \AA}$ 处)。光束经 $F-P$ 后由 $f=240\text{ mm}$ 透镜聚焦成象于底片上,所摄照片由黑度计扫描读取数据。测量结果如图7和表3所示^[3,4]。

方向性对激光线宽的影响是显然的。染

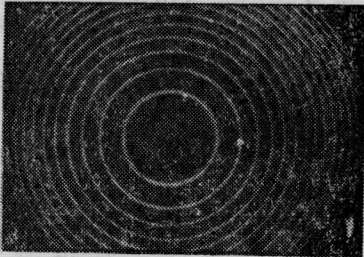


图7 F-P干涉图条件: $n=9\times 10^{-4}\text{ M/l}$,
入射角 85° ,+光阑

表3 线宽测量结果

染料浓度 (M/l)	染料液厚度 D (mm)	入射角 i	能量/脉冲 (mJ)	发散角 (mrad)	线宽 (\AA)
9×10^{-4} (5985 \AA)	0.3	80.5°	20	17	0.15
		85° +光阑	4	15.2	0.10
4×10^{-4} (5915 \AA)	0.3	80°	18	20	0.18
8×10^{-4} (5975 \AA)	0.55	80°	18	21	0.22

料浓度、缝宽、柱面镜位置、腔长、泵浦能量及速率都直接或间接地通过方向性影响线宽。总之,凡是利于方向性的亦益于压窄线宽。一般泵浦能量增加一倍,线宽约增加0.5倍,这是因为许多偏离中心波长较多的波长分量亦有相当高的净增益,其影响超过了使发散角相对减小而产生的影响的缘故。

柱面镜母线的倾斜使输出光束发生很大的倾斜,光束入射角就有很大的差别,加之弧矢发散角比相应宽带时提高了几个毫弧度,因此,母线稍一倾斜,就使线宽从 0.3 \AA 以下变至 0.5 \AA 以上。

设置腔内光阑不仅利于减小发散角和线宽,还可以减小器件输出的荧光成份,提高单色性。在 $\theta=80^\circ$,腔镜上设置 12 mm 光阑时,我们得到了 8 GHz ($<0.10\text{ \AA}$)的输出。

三、结 束 语

我们把闪光灯泵浦的平板自波导染料激光器的性能参数归纳如下:

宽带输出带宽为 80 \AA ,最高平均输出功率达 3 W 。

窄带调谐输出: Rh-6G、乙醇溶液的调谐范围为 $577\sim 623\text{ nm}$ 。线宽(FWHM):光栅角 80° 时为 0.16 \AA , 85° 时为 0.12 \AA ,加光阑时为 0.10 \AA 。最高平均输出功率为 1 W 。

参 考 文 献

- [1] 汤星里等;《中国激光》,1984,11, No. 4, 265.
- [2] P. Mazzinghi et al.; IEEE J. Quant. Electr., 1981, QE-17, No. 11,
- [3] 黄振国等;《应用激光联刊》,1983,2, No. 6.
- [4] H. G. Heard; Laser Parameter Measurements Handbook, New York, John Wilay, 1968.