

铜激光泵浦染料激光器腔结构的实验研究

唐传舜 孙威

(浙江大学物理系)

提要: 对高重复率铜激光横向泵浦染料激光器的四种腔结构进行了实验研究, 比较了它们的工作特性。实验发现双棱镜扩束系统加自准直光栅的腔结构最为理想。获得了线宽为 0.0012 nm 、转换效率为 7.5% 、放大荧光(ASE)背景为 1.5% 的单纵模激光输出。

Experimental investigation of cavity configurations for CVL pumped dye lasers

Tang Chuanshun, Sun Wei

(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou)

Abstract: Four kinds of cavity configurations of dye lasers transversely pumped by high PRF CuBr lasers are investigated and their operating characteristics compared. The double prism expander with Littrow mounted grating cavity is found to be the optimum. Linewidth achieved is 0.0012 nm in $598\sim 640\text{ nm}$ range and the conversion efficiency is 7.5% . The amplified spontaneous emission of 1.5% and single longitudinal mode operation are obtained.

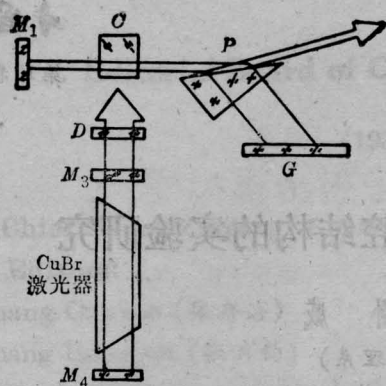
一、引言

高重复率脉冲铜激光泵浦的窄线宽、高效率染料激光器特别适用于激光同位素分离^[1]。近年来我国开始了对铜激光泵浦染料激光器的研究^[2,3], 但关于窄带输出的报道尚少见。本文报道高重复率溴化亚铜激光泵浦的各种单棱镜、双棱镜扩束系统加自准直、掠入射光栅的染料激光器的实验结果, 比较了它们的工作特性, 选择出具有最佳工作特性的染料激光器的腔结构。

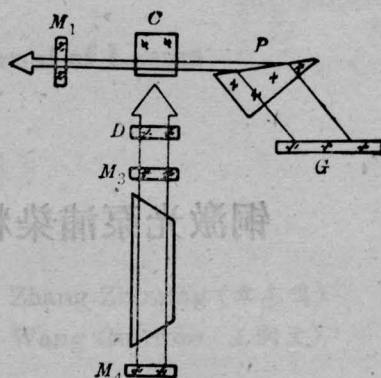
二、实验装置

本实验装置如图1所示。泵浦源是重复率为 $16\sim 20\text{ kHz}$ 的溴化亚铜激光器, 最大平均输出功率 4 W 。为了减小角发散度, 共振腔是使用平面镜 M_3 和 M_4 构成。 M_4 为宽带全反射镜, 在 $500\sim 600\text{ nm}$ 波长范围内的反射率不小于 99.5% ; M_3 为不镀膜的玻璃平板, 作为输出耦合镜。输出激光光束经过柱透镜 $D(f=5\text{ cm})$ 在染料池 C 上聚焦成一

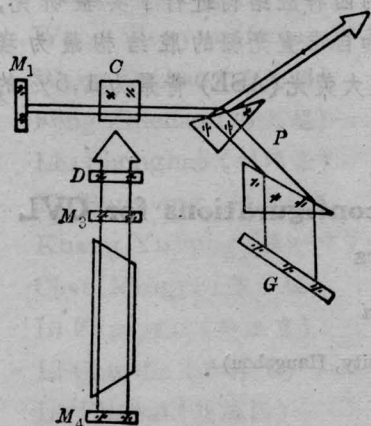
收稿日期: 1986年11月6日。



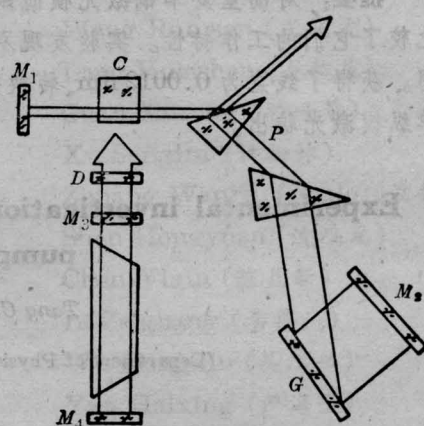
(a) 单棱镜扩束的自准直光栅开放式腔



(b) 单棱镜扩束的自准直闭式腔



(c) 双棱镜扩束的自准直光栅腔



(d) 双棱镜扩束的掠入射光栅腔

图1 单棱镜、双棱镜扩束的染料激光器腔结构示意图

条直线，截面约为 $10 \times 0.2 \text{ mm}^2$ 。激光工作物质是溶于乙二醇溶液中、浓度为 $2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 的碘化若丹明 B 染料。染料溶液通过染料池的流速约为 6 m/s ，这个流速可保证在下一个光脉冲到来之前就已更换了上个泵浦光脉冲所用过的染料溶液。泵浦光的波长为 510 nm 和 578 nm 。

所研究的染料激光器的四种腔结构如图 1 (a)、(b)、(c) 和 (d) 所示。图 1 (a) 和 (b) 为单棱镜扩束系统加自准直光栅的共振腔。G 为 2400 条/mm 的全息光栅，用于波长调谐，并利用它的一级衍射产生激光振荡。扩束棱镜放在使来自染料池的光束为掠入射的位置上。棱镜是采用石英玻璃材料 ($n=1.46$) 制成的直角棱镜，顶角为 42.5° 。在染料激光的调谐范围内，光束以掠入射角入射，经过棱

镜扩束后，它的出射角接近于零，因此可获得最大的扩束比。同时，为了减少掠入射时的反射损耗，在棱镜的入射面镀了多层介质宽带增透膜。图 1 (a) 中反射镜 M_1 为宽带高反平面镜，在 $590 \sim 690 \text{ nm}$ 波长范围内反射率为 99% 。染料激光由扩束棱镜表面输出。(b) 图中的 M_1 为不镀膜的玻璃平板，激光由此镜输出。(c) 图中用二个接近掠入射的棱镜系统进行扩束，其余结构与图 (a) 完全相同，激光由第一块扩束棱镜表面输出。图 (d) 中也是利用两个棱镜扩展腔内光束，棱镜系统与光栅的光束入射角选择在使扩束后的光束充满整个光栅，并在使染料激光效率最高的适当位置上。染料激光的振荡光路为染料池-扩束棱镜-光栅-反射镜 M_2 -光栅-扩束棱镜-染料池-平面镜 M_1 -染料池。利用全反射

镜 M_2 进行波长调谐。

三、实验结果与分析

3.1 四种谐振腔结构的比较

图 1 中四种腔结构的典型实验结果列于表 1。对于每种共振腔结构, 经过简单的调整, 都可以获得 $0.001 \sim 0.002 \text{ nm}$ 之间的线宽, 而用单棱镜扩束的腔要使掠入射角较大时才能得到这个结果, 用双棱镜扩束腔在较小的掠入射角时就可以达到。

采用不同的腔结构时, 得到的转换效率也各不相同。表 1 表明, 在相同的泵浦光功率和相同的激光线宽情况下, 双棱镜扩束腔的转换效率比单棱镜扩束腔高; 用同样的棱镜扩束, 自准直光栅腔的转换效率比掠入射光栅腔的高。

由表 1 还可看出, 当激光从平面镜 M_1 输出(结构 (b))时, ASE 背景比从棱镜表面输出(结构 (a))小一个量级, 但转换效率也有所降低。对于图 1(c) 和 (d) 这两种腔结构, 如采用从平镜 M_1 输出而不是从棱镜表面输出, 同样可以减小激光的 ASE 背景, 但也会影响激光转换效率。

比较图 1(a) 和 (c) 两种腔结构, 它们唯一差别就是结构 (a) 采用单棱镜扩束而结构

(c) 采用双棱镜扩束。从表 1 可以看到, 在相同的泵浦功率条件下 (2.4 W), 用双棱镜扩束腔得到的激光输出功率和转换效率均比单棱镜扩束腔高, 激光线宽较窄, ASE 背景较小。所有的工作特性参数都表明了双棱镜扩束腔 (c) 比单棱镜扩束腔 (a) 好。

比较图 1(c) 和 (d)。这两种共振腔都采用双棱镜扩束, 差别是前者用自准直光栅而后者采用掠入射光栅的结构。两种结构所得到的线宽基本相同。用掠入射光栅结构还可以使线宽进一步压缩, 得到的 ASE 背景也较小, 但其转换效率不如自准直光栅结构高。

综上所述, 对于四种腔结构, 双棱镜扩束的自准直光栅腔(图 1(c)) 具有最高的激光转换效率和最窄的谱线宽度, 只是它的 ASE 背景比腔结构图 1(b) 与 (d) 的较大。综合考虑工作特性和结构、调整等因素后, 可以认为双棱镜扩束加自准直光栅的腔为最理想的腔结构。

3.2 窄线宽、高效率、单模染料激光器

对图 1(c) 的腔结构进行了较为详细的实验研究。得到了激光平均输出功率与泵浦光平均功率的关系, 如图 2 所示, 它们之间为线性关系。泵浦阈值功率约为 1.6 W 。当泵浦光功率增大到 2.4 W 时, 激光转换效率达 7.5% 。进一步增大泵浦光功率, 染料激光转

表 1 四种腔结构的测量特性*

测量参数	腔 结 构			
	单棱镜扩束系统		双棱镜扩束系统	
	自准直光栅 (a)	自准直光栅 (b)	自准直光栅 (c)	掠入射光栅 (d)
泵功率 (W)	2.40	1.94	2.40	2.05
重复率 (kHz)	17	17	17	17
输出功率 (mW)	150	50	176	104
线宽 (nm)	0.0015	0.0017	0.0012	0.0012
转换效率 (%)	6.3	2.6	7.3	5.1
放大荧光背景 (%)	2.3	<0.2	1.5	<1.0
调谐范围 ** (nm)	598~643		598~640	

* 在 610 nm 处进行测量; ** 实测值, 超过此范围, 激光振荡不稳定。

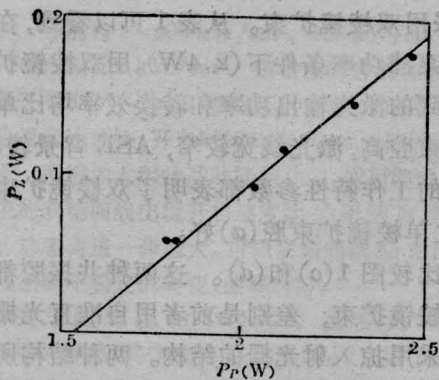


图2 激光平均功率与泵浦光平均功率的关系 ($\lambda_l = 610 \text{ nm}$)

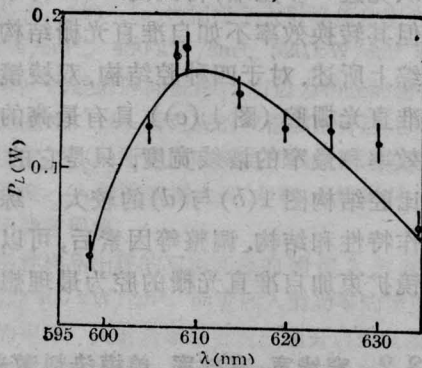


图3 激光调谐曲线

换效率还可以提高。

图3是染料激光器的输出激光调谐曲线。所用的染料是磺化若丹明B。调谐曲线的峰值波长约为610 nm,调谐范围为598~640 nm。在窄线宽激光输出的情况下,测量了输出激光中的ASE背景,如图4所示。ASE背景约为1.5%。在波长598~610 nm范围内,ASE背景较强,而在此范围外,ASE背景明显减小。

利用F-P标准具,在激光波长600 nm(自由光谱范围为0.01 nm)时,测得激光的谱线宽度为0.0012 nm,它比纵模间隔0.00144 nm(腔长12.5 cm)小。因此可以认为得到了单纵模激光输出。由F-P标准具干涉环照片也证实了这个结论。

四、结 论

(1) 利用多棱镜(三个或三个以上)扩束

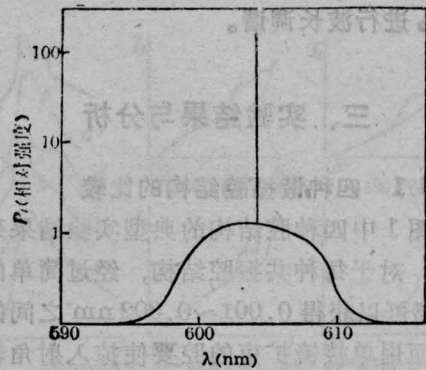


图4 输出激光中的放大自发荧光背景系统可以进一步改善激光器的工作特性。有关计算表明,三棱镜扩束系统的总透射率比双棱镜大,因而损耗更小,有利于提高激光转换效率。但它的体积较大,共振腔较长,脉冲激光在腔内往返次数也就减小,对激光转换效率产生了不利的影响。因此,要把这两个因素综合考虑,才可获得较好工作特性参数的染料激光器。这有待于更进一步研究。

(2) 利用图1中平镜 M_1 作为输出镜,可以使激光的ASE背景比由棱镜表面输出减小一个量级以上,这是降低ASE背景的一种途径,但这要降低激光转换效率。

(3) 由于激光输出功率与泵浦光功率成线性关系,并且泵浦阈值功率较大,因此用具有更大输出功率的铜激光器作为泵浦源,还可进一步提高染料激光器的转换效率。

(4) 图1(c)的腔结构的实验结果与Duarte^[4]在1984年报道的该结构的最新结果相比,本实验的激光转换效率较高,线宽较窄,只是ASE背景稍大,因此总的工作特性要好些。

本工作得到诸葛向彬和施淑毅同志的很多帮助,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 Lavi S, Amit M *et al.* *Appl. Opt.*, 1985; **24**: 1905
- 2 景春阳,张桂燕 *et al.* *中国激光*, 1985; **12**(5): 399
- 3 Sun Wei, Tang Chuanshun *et al.* *Opt. Commun.*, 1986; **58**(3): 196
- 4 Duarte F J, Piper J A. *Appl. Opt.*, 1984; **23**(9): 1391; *Appl. Opt.*, 1982; **21**(15): 331