

绿-红波段氙灯泵浦染料激光器

汤星里 赵梅村 许世忠

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了采用 C_{522} 、Rh6G、RhB 和 Rh3B 四种激光染料, 在直管氙灯泵浦染料激光器装置上进行实验研究的结果, 并对实验结果作了讨论。波长复盖范围 $5060 \sim 5320 \text{ \AA}$ 、 $5800 \sim 6470 \text{ \AA}$ 。

A flash-pumped dye laser in green-red spectral range

Tang Xingli Zhao Meicun Xu Shizong

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

Abstract: In the report we describe our experimental study of a flash-pumped dye laser using four types of dyes: C_{522} , Rh6G., RhB and Rh3B. Its wavelengths ranges from $5060 \sim 5320 \text{ \AA}$ and $5800 \sim 6470 \text{ \AA}$. The experimental results are discussed.

我们使用[1]的染料激光器装置, 激光染料管是内径 3 毫米、长 100 毫米的石英管。谐振腔是简单的半共焦腔, 凹面反射镜的曲率半径 1.5 米。用两只泵分别循环抽染料溶液和冷却用的蒸馏水。染料溶液在循环过程中经受过滤和冷却。激光器电源最高重复率每秒 40 次, 最大储能 50 焦耳。

四种染料激光器的实验结果列于表 1。

采用香豆素 522 激光染料的无水乙醇溶液时, 获得了绿色波段的激光振荡。

测量了 C_{522} 浓度与激光输出的关系, 得到最佳浓度约 2×10^{-4} 克分子/升。激光谐振腔平面输出反射镜在激光中心波长 (5220 \AA) 附近的最佳透过率测得为 $\sim 30\%$ 。在此条件下器件全波段单脉冲最大输出能量达到 31.5 毫焦耳, 相应点的效率为 0.62%。

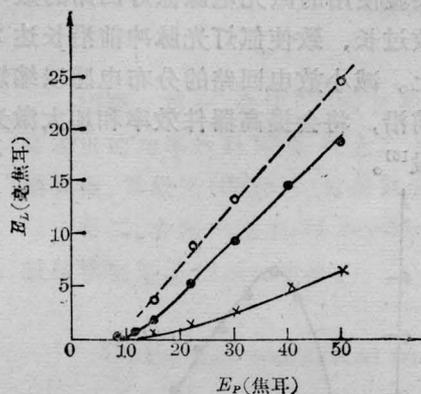
象[2, 3]中所描述的那样, 我们也观察

到氧对激光器效率的影响。与该文不同的是因香豆素染料三重态寿命比若丹明 6G 长, 因而氧的作用分外明显。图 1 是染料浓度等于 1.28×10^{-4} 克分子/升时, 溶液刚配制好, 在空气中放置一天和两天后测量的激光效率, 在放置过程中染料溶液仅接触大气。从图 1 可看出溶液在空气中放置一天后激光效率比新配制溶液高约三倍, 放置两天后将高四倍。这是因为染料分子存在寿命较长 ($10^{-3} \sim 10^{-7}$ 秒) 的三重态 T_1 , T_2 , ..., 而 $T_1 \rightarrow T_2$ 的感应吸收跃迁在激光过程中造成损耗。染料溶液在空气中吸附了氧, 而氧分子具有较大的轨道磁距, 它和染料分子之间自旋轨道耦合很强, 可增加三重态 T_1 到单基态 S_0 的跃迁几率。这样就猝灭了三重态 T_1 , 减少了激光损耗, 从而提高了激光效率。在

收稿日期: 1981 年 2 月 10 日。

表 1

染料名称	最佳浓度 (克分子/升)	输出最佳耦合	单脉冲激光 能量(毫焦耳)	器件效率	调谐区域(\AA)	谱线宽度(\AA)
C ₅₂₂	2×10^{-4}	30%	31.5	0.62%	5060~5320	0.25
Rh6G	2×10^{-4}	60%	94.8	1.9%	5800~6100	0.25
RhB	2×10^{-4}	30%	32.1	0.64%	6150~6370	0.25
Rh3B	—	—	12.2	0.24%	6200~6470	0.25

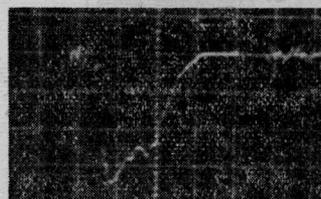
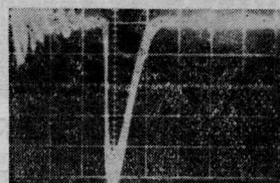
图 1 C₅₂₂ 激光效率曲线

×—新鲜染料溶液；●—放置一天后；
○—放置二天后

其它染料的激光实验中也可观察到类似的现象。若用氮气去除溶液中的氧气，则激光输出将明显下降。另外，如果在 C₅₂₂ 溶液中放进更好的三重态猝灭剂——环辛二烯，激光效率还可提高。

用 GD-11 型光电强流管作接收器件研究了 C₅₂₂ 激光脉冲波形。图 2 给出在 SS-212 型示波器上拍摄的波形照片。(a)和 (b)分别为泵浦能量等于 12 焦耳和 22.2 焦耳时的激光脉冲照片。从照片看到，当泵浦能量比较低时激光输出呈单脉冲，泵浦能量高时呈多脉冲。(c)是器件 18 次/秒运转、曝光时间 1 秒钟拍摄的激光波形。激光幅度抖动小于 20%。激光幅度的不稳定主要是染料溶液流动的不均匀所致。

我们在实验中采用三片组合式石英晶体双折射滤光片调谐。石英晶体光轴平行于滤光片的通光面，其厚度比为 1:2:9，最薄片厚 0.6 毫米。滤光片置于腔内，它的法线与

扫描速度: 0.5 微秒/厘米
(a)扫描速度: 0.5 微秒/厘米
(b)扫描速度: 1 微秒/厘米
(c)图 2 C₅₂₂ 激光脉冲波形

激光夹角为布儒斯特角。借助在通光面内旋转滤光片来调谐激光，得到 C₅₂₂ 激光覆盖范围 5060~5320 \AA (图 3)，双折射滤光片转角 ~ 18 度。用光栅摄谱仪拍摄的 C₅₂₂ 激光谱线示于图 4。

激光光束经过扩束射入一 2 毫米厚的实心 F-P 标准具，然后用一物镜聚焦。在焦平面拍下的干涉环如图 5 所示。计算出 C₅₂₂ 激光谱线宽度 $\leq 0.25 \text{\AA}$ 。中心亮度是由于 F-P 标准具介质膜反射率不够高，激光峰值功率

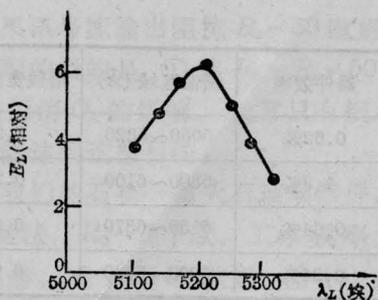


图3 C₅₂₂ 激光调谐波段

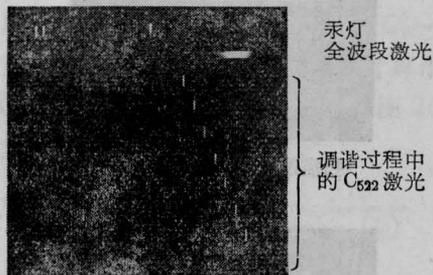


图4 C₅₂₂ 激光谱线、相邻两激光谱线, 对应滤光片转角 ~2°

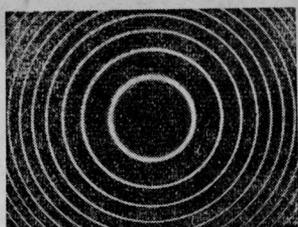


图5 F-P 标准具的干涉环

过强, 一部分激光直接穿过标准具经物镜聚焦而成。加大介质膜反射率, 进一步发散激光光束, 中心亮点可以消除。

我们观察到: 从 C₅₂₂ 激光能量达最佳时开始计算, 输入 40 万焦耳泵浦能量, 器件输出的激光能量下降到最佳值的 80%。C₅₂₂ 溶液体积是 2.75 升。

有关氙灯泵浦若丹明 6G 激光器的报导很多^[4~5], 这里简要介绍我们最新的实验研究结果。

染料溶液循环系统经严格的清洁处理后, 在器件最佳条件, 即 Rh6G 浓度为 2×10^{-4} 克分子/升和输出反射镜透过率为 60%。当氙灯的脉冲供电电能等于 50.3 焦

耳时, 取得了运转在 1 次/秒时的单脉冲最大激光能量 94.7 毫焦耳。对应点效率 1.9%。激光器运转在 33 次/秒, 脉冲泵浦能量为 30.6 焦耳时, 得到了 1.8 瓦的激光平均功率。用双折射滤光片调谐, 波长范围是 5800 ~ 6100 Å (图 6)。四倍阈值泵浦能量时, 激光光束发散角为 3~4 毫弧度。

实验使用的激光电源氙灯回路的放电时间常数过长, 致使氙灯光脉冲前沿长达 2 微秒以上。减小放电回路的分布电感以缩短泵浦光前沿, 将会提高器件效率和加大激光调谐波段^[6]。

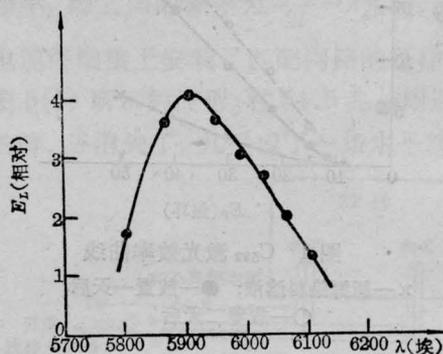
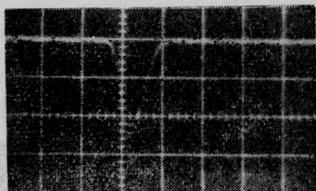


图6 Rh6G 激光调谐波段

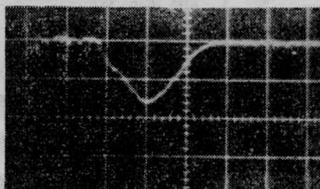
当改用若丹明 B 作工作物质时, 激光器就在红色波段运转。激光性能如表 1 所示。

我们观察到激光脉冲半极大全宽度是随输入能量的加大而增宽的。图 7(a)~(c) 是一组不同输入能量时的若丹明 B 激光脉冲照片。激光器阈值输入能量为 6.5 焦耳。输入 7.1 焦耳, 激光脉宽 0.4 微秒; 输入 12 焦耳, 激光脉宽为 0.75 微秒; 而当输入能量增至 22.2 焦耳时, 激光脉宽将增加到 1.1 微秒。再加大输入能量, 只要氙灯光脉冲宽度继续增加, 激光脉冲宽度就仍可继续增加。激光脉宽随输入能量的增加而变宽的实验事实和染料激光器的动力学理论计算结果一致^[7]。

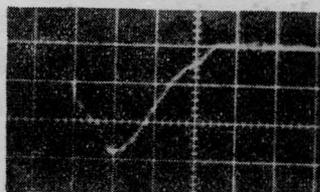
若丹明 B 激光的调谐范围是 600~6375 Å。图 8 是它的调谐曲线和调谐元件——双折射滤光片在谐振腔内的插入损耗。



(a) 输入能量 7.1 焦耳
横坐标: 0.5 微秒/厘米
纵坐标: 0.5 伏/厘米



(b) 输入能量 12 焦耳
横坐标 0.5 微秒/厘米
纵坐标: 2 伏/厘米



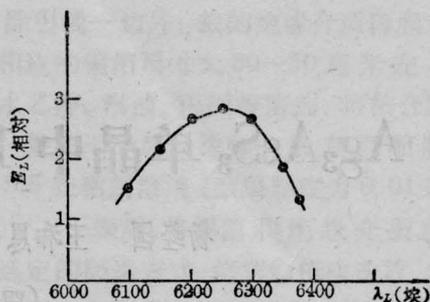
(c) 输入能量 22.2 焦耳
横坐标 0.5 微秒/厘米
纵坐标: 5 伏/厘米

图 7 RhB 激光脉冲波形
曝光次数: 1 次/秒, 共 2 次

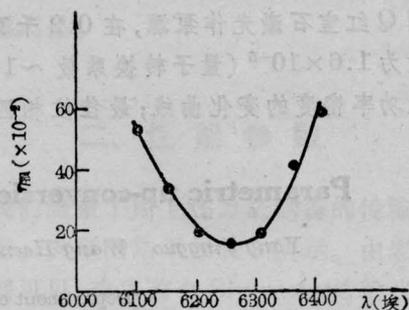
中心波长 6250 \AA 处的激光能量相对不调谱时的全波段激光能量损耗约 16.5%。在调谱波段边缘损耗 50% 左右。这里所涉及的插入损耗是双折射滤光片在不同波长上的透过率和 RhB 染料分子在不同波长上的激光增益的综合效果。

当改用若丹明 3B 激光染料时, 激光波段可延伸至 6470 \AA 。然而激光效率不高, 仅为若丹明 B 的百分之三十。

各种染料激光的效率不同, 主要是由于各种染料分子激光上能级荧光量子效率以及它们的三重态对激光猝灭效率不同。例如若丹明 6G 染料分子的荧光量子效率是 85~95%, 但若丹明 B 分子的荧光量子效率只有



(a)



(b)

图 8 RhB 激光器中双折射滤光片的调谐曲线(a)和在腔内插入损耗(b)

40%, 另外若丹明 6G 三重态 T_1 寿命最短, 三重态对激光猝灭效率较低, 因此若丹明 6G 激光效率必然比若丹明 B 的高。当然也要指出: 在我们的实验中, 泵浦四种染料所用氙灯的极距和灯管内径有些差别也会给它们的激光带来差异。

参 考 文 献

- [1] 汤星里等;《氙灯泵浦染料激光器》(待发表)。
- [2] K. Nagashima *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **28**, No. 2, 227.
- [3] 四川大学物理系光学教研室;《激光》, 1978, **5**, No. 3, 13.
- [4] 邱元武等;《物理》, 1979, **8**, No. 5, 411.
- [5] 赵梅村等;《激光》, 1979, **6**, No. 11, 31.
- [6] P. P. Sorokin *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1968, **48**, No. 10, 4726.
- [7] B. G. Huth *et al.*; *IBM J. Resea. Develop.*, 1971, **15**, No. 1, 278.