

# 氯化亚铜激光器泵浦的高重复率染料激光器

景春阳 张桂燕 吴正亮 舒菊坪 胡企铨 殷立峰 林福成

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 报道了用 CuCl 激光器泵浦的几种若丹明染料的研究结果, 激光辐射复盖了从 5630 Å 到 6230 Å 约 600 Å 的波长范围, 最高转换效率达到 33%。

## A high repetition rate dye laser pumped by a CuCl laser

Jim Chunyang, Zhang Guiyan, Wu Zhengliang, Su Juping, Hu Qichuan, Ying Lifeng, Lin Fucheng

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

**Abstract:** The experimental results of several kinds of high repetition rate Rhodamine dyes pumped by a CuCl laser are presented. The laser radiation covers about 600 Å ranging from 5630 Å to 6320 Å. The maximum conversion efficiency is up to 33%.

近年来铜蒸气激光器泵浦染料激光器取得很大成功<sup>[1,2]</sup>。本文报道以铜激光泵浦几种若丹明染料产生宽带辐射的实验结果。我们使用的铜蒸气激光器是一台 CuCl 激光器<sup>[3]</sup>, 平均功率 2 W, 5106 Å 和 5782 Å 辐射的强度比为 5:3, 重复频率为 12.5 kHz (可调)。放电管两端有布儒斯特角窗(见图 1 中 A 部分), 输出成水平偏振; 采用了正分支不稳腔, 光束发散角为 1 mrad; 腔内凹面全反射镜一端有分光的三角形玻璃棱镜, 以便选取绿线或黄线输出。

图 1 是实验装置图。由球面全反射镜  $M_1$ 、 $M_2$  和平面半反射镜  $M_3$  构成三折腔。反射镜涂有中心波长  $\lambda = 5850 \text{ \AA}$  宽带全反或半反射介质膜。 $M_1$  和  $M_2$  相距 10 cm, 染料

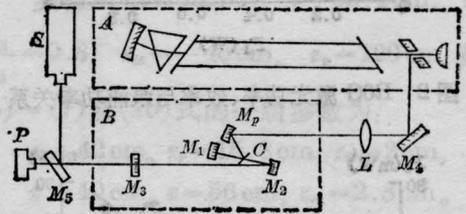


图 1 实验装置图

A—铜蒸气激光器系统; B—染料激光器系统; C—染料喷流膜;  $M_p$ —凹球面泵光反射镜;  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_4$ —全反射镜;  $M_3$ —半反射镜;  $R_1=5 \text{ cm}$ ;  $R_2=10 \text{ cm}$ ;  $R_3=\infty$ ; L—透镜;  $M_5$ —玻璃平板; P—激光功率计; S—光栅单色仪

喷流膜 C 居中。 $M_2$  和  $M_3$  相距 30 cm, 整个腔长 40 cm。 $M_1$  和  $M_2$  间的距离可适当调整, 以匹配喷流上的光斑尺寸。液膜面与光

收稿日期: 1984 年 3 月 14 日。

轴成布氏角。喷流由  $0.4 \times 5 \text{ mm}$  的喷嘴形成。喷流速度为  $60 \text{ m/min}$ 。染料溶液由一台循环泵循环流动。染料激光功率由 JGIII 型激光功率计  $P$  测量, 激光辐射谱用 HRS-2 型光栅单色仪  $S$  测量, 被测光束用一块玻璃平板  $M_5$  从主光路分出。

我们对 R6G、RB 和 R640+R6G 的乙二醇溶液做了实验研究。对于 R6G( $1 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ) 共振腔最佳输出耦合为  $T=50\%$ , 以下的工作都是在这个输出耦合下进行的。对于 R6G( $1 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ) 和 RB( $1 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ), 测量了染料激光输出功率、效率与泵浦功率的关系, 分别绘于图 2、3。对于 R6G 仅以绿线泵浦, 激射阈值是很低的, 为  $70 \text{ mW}$ 。在测量范围内, 染料输出功率与泵浦功率成线性关

系。对于效率来说, 在泵浦光从阈值到  $0.5 \text{ W}$  这段效率迅速增加, 泵浦光超过  $0.5 \text{ W}$  后, 随着泵浦功率提高, 效率趋于常数  $28.5\%$ 。在最佳情况下最高输出是  $308 \text{ mW}$ , 泵浦光功率为  $0.93 \text{ W}$ , 效率达到  $33\%$ 。当用  $1.2 \text{ W}$  的双波长(其中包含有  $0.75 \text{ W}$  绿光)泵浦时, 输出从只用绿线泵浦时的  $207 \text{ mW}$  降至  $116 \text{ mW}$ , 减少近一倍。这说明  $5782 \text{ \AA}$  泵浦辐射对 R6G 染料激光有猝灭作用, 这是由于  $5782 \text{ \AA}$  辐射在泵浦光轴方向上的放大而消除反转粒子数引起的。获得受激放大的泵浦辐射  $5782 \text{ \AA}$  与染料激光在  $5782 \text{ \AA}$  处的相干振荡, 虽然波长相同, 但因传播方向不同, 所以前者虽也是相干辐射, 对后者没有贡献。相反, 因染料激光能级是均匀加宽, 故泵浦光  $5782 \text{ \AA}$  的放大消耗了能级粒子数反转, 从而使整个谱线增益下降。这一现象和文献[4]是一致的。

对于 RB, 图 3 示出的结果是仅以绿线泵浦得到的。在泵浦功率低于  $0.25 \text{ W}$  时效率是增长阶段, 而在大于  $0.25 \text{ W}$  后, 则保持常数  $18\%$ , 表明 RB 比 R6G 在更低的泵浦功率下出现效率饱和。RB 的输出功率与泵浦功率也成线性关系, 最大输出是  $77 \text{ mW}$ , 这时泵浦光功率为  $0.42 \text{ W}$ 。用黄线泵浦也获得激光振荡, 但输出是微弱的。

此外, 对 R640 ( $1.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ) + R6G ( $1.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ) 也做了研究。用全线、绿线和黄线泵浦都获得了振荡。全线泵浦时, 输出  $40 \text{ mW}$ , 效率为  $9\%$ 。

图 4 表示染料受激辐射强度  $I$  与波长  $\lambda$  的关系。从图确定的辐射中心波长  $\lambda_c$ 、带宽  $\Delta\lambda$  和截止波长  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  都列入表 1 中, 以便比较。表 1 中还列出了泵浦光波长  $\lambda_p$ 、激光辐射效率  $\eta$ 。其中截止波长从最大强度的  $10\%$  处得到。

三种染料乙二醇溶液的激光辐射谱为  $160 \sim 250 \text{ \AA}$  宽的带, 中心波长对不同情况有相对移动(见表 1)。

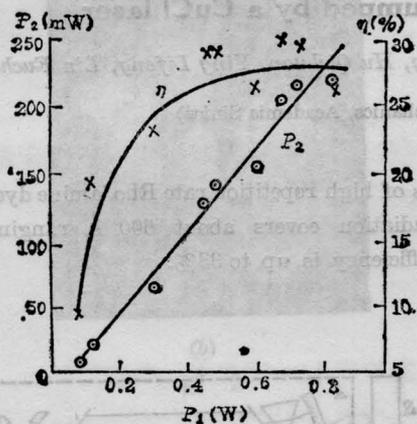


图 2 R6G 激光功率、效率与泵浦功率关系

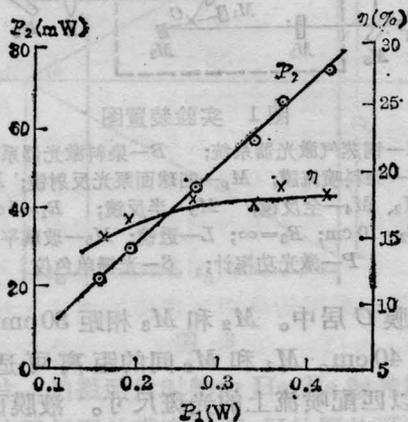


图 3 RB 激光功率、效率与泵浦功率关系

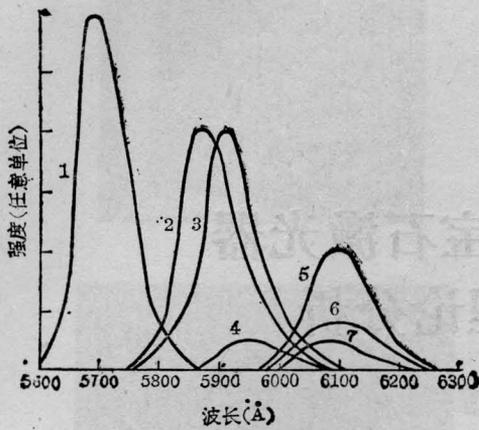


图4 染料激光辐射强度与波长的关系  
1—R6G; 2,3,4—RB; 5,6,7—R640+R6G

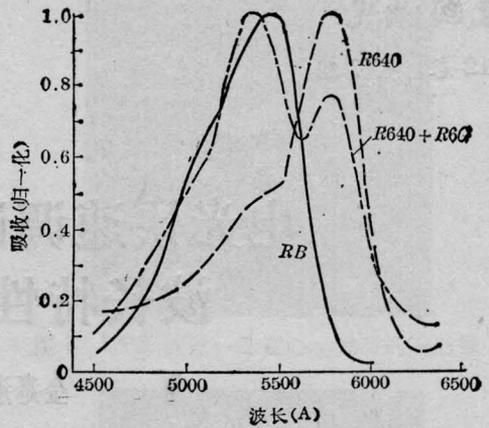


图5 RB、R640和R640+R6G的  
乙二醇溶液吸收谱

表 1

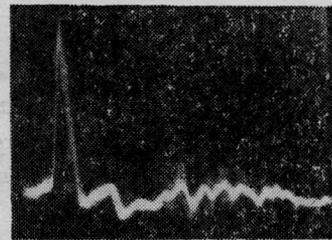
染料	浓度( $\times 10^{-3}$ 克分子)	$\lambda$ (Å)	$\Delta\lambda$ (Å)	$\lambda_1 \sim \lambda_2$ (Å)	$\eta$ (%)	$\lambda_p$ (Å)
R6G	1	5708	160	5630~5790	28	5106
RB	1	5880	228	5788~6016	18	5106
		5916	204	5820~6024		5106+5782
		5950	200	5870~6090		5782
R640 +R6G	1.5	6096	250	6000~6250		5106
		6096	200	6020~6220		5782
		6096	220	6010~6230	9	5106+5782

R6G在只用5106 Å泵浦时,中心波长在5708 Å,带宽160 Å(图4中曲线1)。

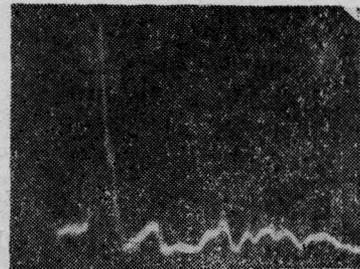
RB在全线泵浦时(曲线3)比只用绿线泵浦时(曲线2)的中心波长向长波移动36 Å,而两者输出强度基本相同;用黄线泵浦的(曲线4)中心波长在5950 Å,与绿线泵浦相差70 Å,强度则弱得多。

为了说明各种染料的受激辐射强度与泵浦波长关系,图5给出了三种染料乙二醇溶液的吸收谱图。从图5可见,在RB情况下,泵浦光相对吸收绿线为黄线的7倍。在我们实验中黄线泵浦在阈值附近,因而染料输出很弱。而在全线泵浦时黄线的贡献也很小,在测试精度范围时未显示出全线泵浦比绿线泵浦时输出功率有明显差别。

染料若丹明640(R640)在红光区有很高的荧光量子效率<sup>[6]</sup>,其荧光谱峰值在6200 Å。我们在R640中加入R6G构成混合染料。R6G为施主,R640为受主。希望增加对泵浦光(绿光)的吸收,再通过两类染料间的能量转移增加输出,也希望其荧光峰值向短波移动,以便和RB光谱衔接。实验结果表明,R640+R6G乙二醇溶液的激光辐射中心在6096 Å。三种泵浦下中心波长不变,只是强度不同,对全线、绿线和黄线泵浦,强度依



(a) R6G光波形



(b) 5106 Å光波形

图6 脉冲光波形(时标:50 ns/div)

(下转第394页)

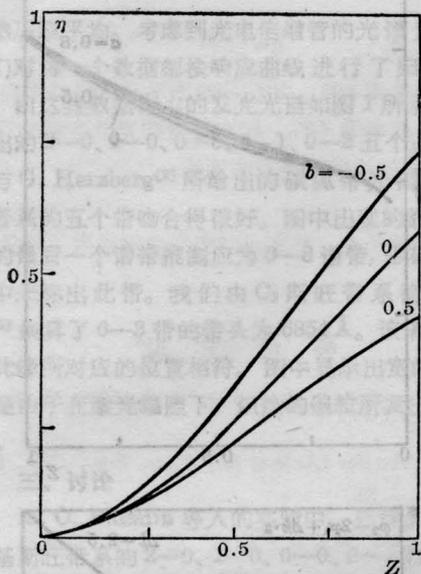


图8 不同  $b$  值时, 转换效率与介质长度的关系  
(耦合方程组数值解结果);  $\eta = |F_2|^2 / |F_1|^2 + |F_2|^2$

图8表示转换效率  $\eta$  随介质长度的变化的计算结果。

### 参 考 文 献

- [1] N. Bloembergen; "Nonlinear Optics", Benjamin, New York (1973).
- [2] Manley J. M., Rowe H. E.; *Proc. IRE*, 1959, **47**, 2115. J. A. Armstrong *et al.*; *Phys. Rev.*, 1962, **127**, 1918.
- [3] F. Zernike, J. E. Midurinter; "Applied Nonlinear Optics", New York (1973).
- [4] P. S. Rershan; "Nonlinear Optics", Progress in Optics, Vol. 7, Editor E. Wolf, p. 85, North Holland Publishing Company.

(上接第401页)

次减弱(图4中曲线5、6、7)。从图5中R640和R640+R6G曲线的比较可看出, R640加入R6G后对绿线泵光吸收增加一倍, 对黄线泵光吸收虽略有降低, 但对两条线总吸收增加了很多。全线泵浦输出增大说明两种染料间有能量转移发生, R640起了受主作用。

图4中各曲线幅度代表了相对辐射强度。对于R6G(曲线1)、RB(曲线2或3)和R640+R6G(曲线5)三种乙二醇染料溶液, 受激辐射强度比为3:2:1, R6G输出最强, R640+R6G输出最弱, 上面三种染料各种测量中, 泵浦源铜蒸气激光器的工作频率都是12.5kHz。图6示出了脉冲光波形, 其中(a)为染料R6G的脉冲光波形, 是以5106 Å 泵

浦得到的; (b)为相应泵浦光5106 Å 脉冲光波形。R6G光波形半宽度为19 ns, 全宽度37 ns; 5106 Å 光波形半宽度为18 ns, 全宽度44 ns。据此可以求出R6G最高输出时峰值功率为1.3 kW, 相应的泵浦光峰值功率为4 kW。

### 参 考 文 献

- [1] A. N. Zherikin *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1981, **11**, No. 6, 806.
- [2] R. S. Hargrove *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, No. 10, 1108.
- [3] 景春阳, 张桂燕; (待发表)。
- [4] L. V. Masarnovsvii; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1979, **9**, No. 7, 900.
- [5] 吴正亮等; 《中国激光》, 1983, **10**, No. 6, 351.