

多波长染料激光系统

汤星里 上官诚 林英仪 于开义 窦爱荣 王怡复
孙国华 蒋胜利 王 伟 钱玉兰

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

本文报道由四台染料激光器组成的四波长染料激光系统, 测量了四个波长激光合束后的激光参量和
时间特性, 简要地讨论了影响有效染料激光功率的诸因素。本系统输出总功率 8.9 W。

关键词 染料激光。

在激光光谱和激光与原子蒸气相互作用的许多实验中, 常常研究多色多光子激发和电
离过程, 需要多个波长的激光束同时聚焦在相互作用区内, 为此需要多台染料激光器同时
运转, 并将各束染料激光合成一束。最近我们研制成四台染料激光器构成的染料激光系统,
由铜蒸气激光器泵浦。此激光系统的示意图如图 1 所示。用于泵浦染料激光器的铜蒸气
激光的方向性为 1 mrad, 光束口径为 $\phi 30 \text{ mm}^{[1]}$, 通过 1:2 缩孔镜组把铜蒸气激光输入染
料激光器内。DL₁ 和 DL₂ 用黄绿光泵浦, DL₃ 用纯黄光泵浦, DL₄ 用纯绿光泵浦。四台染
料激光器可根据实验所需波长选择不同的染料和溶剂。

每台染料激光器都是一级振荡二级放大的振荡-放大系统^[2]。对于振荡器, 采用
Littrow 型光栅腔, 作为波长选择元件的光栅刻槽为 600 l/mm 棱镜扩束器的扩束倍数为
70, 腔内标准具的自由光谱范围 $\nu_{FSR} = 20 \text{ GHz}$, 精细度 $F^* = 16$, 以能有效地压窄光谱线宽。

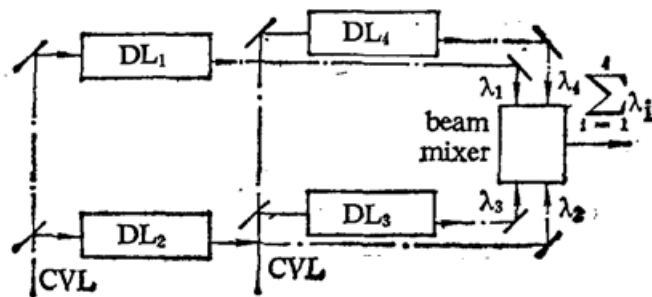


Fig. 1 Schematic diagram of the dye laser system

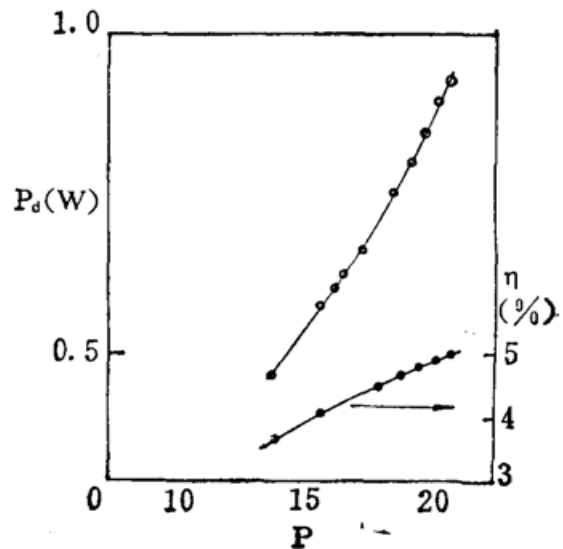


Fig. 2 Output power of dye laser as a function of pumping power (CVL) dye: Kiton red S, solvent: methanol

当染料激光器用奇通红(Kiton red S)染料运转时,其效率曲线和输出功率 P_d (W) 作为泵浦功率 P 的函数表示如图 2 所示. 此时振荡级的染料浓度 $c_1 = 1.2 \times 10^{-3}$ mol/L, 放大级的染料浓度 $c_2 = 4.5 \times 10^{-4}$ mol/L, 其溶剂为甲醇. 染料激光线宽 $\Delta\lambda = 0.001$ nm, 测量所得干涉环照片如图 3 所示. 调谐范围为 588.0~631.0 nm, 输出功率 P_d (W) 随波长 λ 变化的调谐曲线如图 4 所示, 这是腔内放置标准具和不放标准具的两种情况的测量结果. 从图中曲线可看出, 在接近调谐曲线的峰值部分, 腔内放置标准具时, 引起染料激光输出功率的下降比较小, 而在调谐曲线的两翼, 放置标准具时, 激光功率的下降则比较明显. 所以在选择染料时, 要尽可能使运转波长处在染料调谐曲线的峰值部分附近.

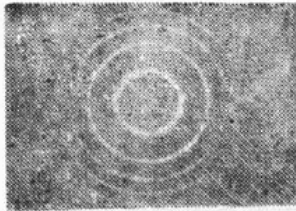


Fig. 3 Interference fringe of dye laser measuring etalon $d=10$ mm $\nu_{FSR}=10$ GHz

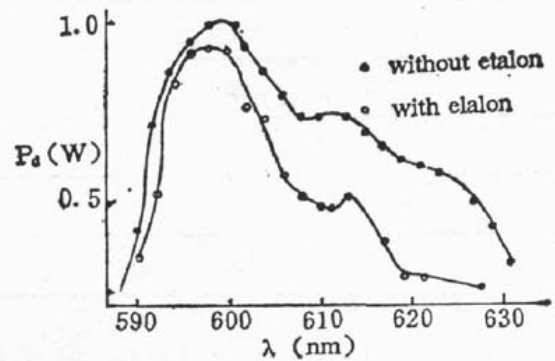


Fig. 4 Tuning of dye laser wavelength (dye solution: Kiton red S in methanol)

由于染料温度的变化严重地影响染料激光波长的稳定性, 所以每台染料激光器的振荡级都装有温控系统用以控制染料温度, 这样染料激光波长的扫描可以自动控制.

将四个不同波长的染料激光束合成一束光, 即在空间上要共线和等光束直径, 在时间上要同步. 四束染料激光经合束系统合束后的完全重合度为 91.8%, 合束系统的效率 ~ 85%^[8]. 染料激光系统的总功率为 8.9 W. 经合束后的染料激光总功率为 7.5 W, 每台染料激光器的分功率也都进行了测量; 铜蒸气激光泵浦激光功率数据以及相应的染料激光器的效率都列入表 1 中. 染料激光系统的效率 η 是各个波长染料激光分功率之和除以总的泵浦激光功率, 即

$$\eta = \frac{P_d}{P} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_{di}}{\sum_{i=1}^4 P_i}$$

Table 1 Output and efficiency of the dye laser system

	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	$\sum_{i=1}^4 \lambda_i$
Output power of dye laser (W)	0.6	0.53	1.6	6.2	8.93
Pumping power (CVL) (W)	20.3	19.6	20.2	40.2	100.3
Efficiency (%)	3	3	8	15	8.9
Power of dye laser after beam mixing (W)	0.4	0.44	1.4	5.3	7.54

根据上式计算得 $\eta=8.9\%$.

多波长染料激光系统在用于多步激发和电离实验时,由于不同跃迁的吸收截面不同,有的甚至相差很大,这时应根据研究对象调整不同波长染料激光器的输出功率比例.一般来说吸收截面较大的跃迁,用于激发它的染料激光强度可以较低.而吸收截面较小的跃迁,则用于激发它的染料激光强度应提高.对于分别激发多个能级时,对不同波长的染料激光要选取适当的强度比例,则可以提高最终相互作用的效率.

四个波长的染料激光经合束以后,测量了它们的时间特性,其测量结果数据列在表2.

Table 2 Pulse duration and the time relation between pulses for dye laser

	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Pulse duration of dye laser (ns)	28.4	28.5	26.2	28.1
Pulse duration of CVL (ns)	33	33	33	33
Relative time of the peak of dye laser pulse (ns)	32.0	33.7	35.2	37.5
Time between the peaks of two pulses (ns)	$\tau_{12}=1.7$	$\tau_{23}=1.5$	$\tau_{34}=2.3$	$\tau_{41}=5.5$
Repetition rate (kHz)	6			

四个波长染料激光波形的同步情况由信号输入 4400 型数字平均器测得,结果表示在图 5 上.

根据所得结果可看出 λ_1 和 λ_4 染料激光峰值的时间差最大, $\tau_{14}=5.5$ ns. 图 6 是四个波长的染料激光的波形重叠图. 当考察多个波长的脉冲染料激光的时间重合性时,应以激光峰值的时间相差最大的两个脉冲进行计算.

现考察两个脉冲波形的同步性. 设两个脉冲波形基本对称,脉冲宽度分别为 τ_a 和 τ_b , 若 $\tau_a > \tau_b$, 两个脉冲的峰值时间的差值为 τ_{ab} , 那么两个脉冲的时间重合度粗略地为

$$\eta_s = \begin{cases} 1, & \tau_{ab} < (\tau_a - \tau_b) / 2 \\ \frac{\tau_b - [\tau_{ab} - (\tau_a - \tau_b) / 2]}{\tau_b}, & \tau_{ab} \geq (\tau_a - \tau_b) / 2 \end{cases} \quad (2)$$

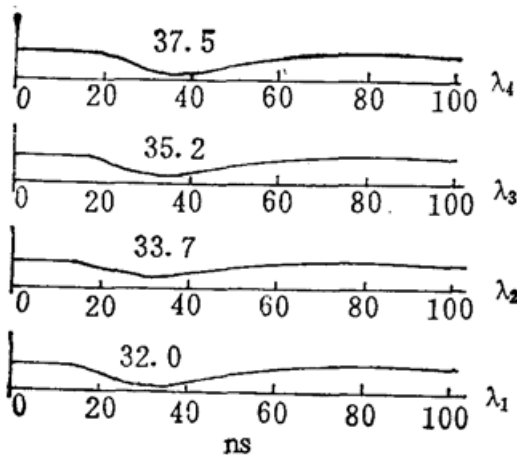


Fig. 5 Time behaviour of four-dye laser pulses

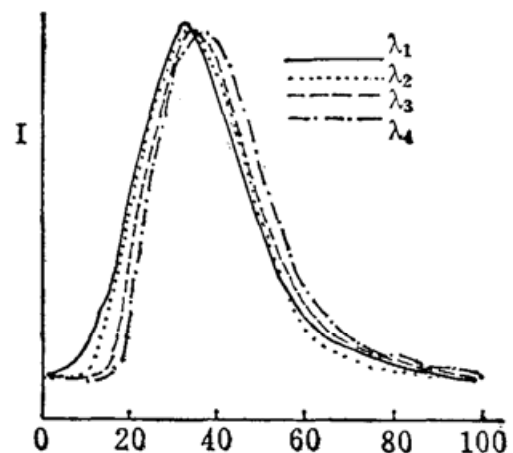


Fig. 6 Pulse overlap of four-dye laser

将 λ_1 和 λ_4 染料激光的时间特性数据代入(2)式,求得 $\eta_s=81\%$,不同波长染料激光的时间重合性是可以透过光程补偿来得到改善的.在合束过程中已经仔细地调整各波长的光程,使得合束后的时间重合度达最高.现在存在的时间不重合度的主要来源可能是铜蒸汽激光器的放电不稳定性.另一方面,几个脉冲的宽度也不能相差太大,如果相差太大,则多步激发时也要受影响.这种影响还将与被激发物质的能级寿命密切相关.

到达相互作用区之前的染料激光有效功率是染料激光总的输出功率 P_d 乘上各环节如合束和同步等的效率所得之值,即

$$P_e = P_d \eta_{ca} \eta_{cs} \eta_s = P_d \eta_e \eta_{ca} \eta_{cs} \eta_s. \quad (3)$$

式中 η_{ca} 是合束的空间重合度, η_{cs} 是合束的功率效率, η_e 是染料激光器的效率.代入测量所得数据求得: $P_e=0.63 P_d$,也就是说染料激光在到达相互作用区之前,由于损耗和不重合性等使得染料激光有效功率是染料激光总输出功率的约 63% 左右.

染料激光到达相互作用区以后,还有例如频率的漂移等因素的影响造成相互作用效应的减弱.这种影响还与相互作用物质的能级宽度有关.因此要做成一个有效的染料激光系统必须减低各环节的损耗,提高每个环节的效率.

作者感谢天津理化工程研究院潘文杰提供脉冲时间特性数据,感谢梁培辉等同志的帮助.

参 考 文 献

- [1] 梁宝根,方无忌,张斌元等. 20 W 放电加热式铜蒸气激光器,中国激光,1986,13:(6):334~347
- [2] 上官诚,汤星里,林英仪等. 6.7 W CVL 泵浦染料激光器,中国激光,19(7):481~485
- [3] 徐毓光,余勒跃,吕波等. 多束激光的合成和传输,中国激光,1991,18(2):98

A multi-wavelength dye laser system

TANG XINGLI SHANG-GUEN CHENG LIN YINGYI YU KAIYI DOU AIRON
WANG YIMAN SUN GUOHUA JIANG SENGLI WANG WEI QIAN YULAN

(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica Shanghai 201800)

(Received 9 September 1991; revised 12 December 1991)

Abstract

A four-wavelength dye laser system consisted of four dye lasers is developed. Its laser parameters and time characteristic after mixing four beams have been measured. The factors which have an effect on efficient dye laser power are discussed briefly. The total average output power of this system is 8.9 W.

Key words dye laser.