

6.7W CVL 泵浦染料激光器

上官诚 汤星里 林英仪 于开义 乔福堂 蒋胜力 王 伟
窦爱荣 孙国华 王怡曼 钱玉兰

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文报道 CVL 泵浦染料激光振荡系统的实验研究。详细测量了染料激光的性能, 如线宽、功率、效率、脉宽、调谐范围、光谱纯度和光束质量等。对于 Rh6G 染料, 染料激光输出平均功率达 6.7W。

关键词: 染料激光, 铜蒸气激光

6.7W output power from dye laser pumped by CVL

*Shangguan Cheng, Tang Xingli, Lin Yingyi, Yu Kaiyi, Qiao Futang, Jiang Shengli,
Wang Wei, Dou Airong, Sun Guohua, Wang Yiman, Qian Yulan*
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: An experimental research on dye oscillator-amplifier configuration pumped by CVL is described. The characteristics of the dye laser, such as bandwidth, output power, efficiency, pulse duration, tuning range, spectral purity and frequency stability etc, are measured in details. 6.7W output power has been obtained from the Rh6G dye laser.

Key words dye laser, CVL

本文报道一较高输出功率水平的铜蒸气激光(OVL)泵浦的染料激光器。

一、染料激光器的结构

OVL 泵浦染料激光器振荡-放大系统的基本结构如图 1 所示。振荡级的结构是 Hansoh 型, 同[1]报道的相似, 光栅刻线 600 条/mm。采用消色散五棱镜扩束器, 扩束倍数为 70。染料激光通过扩束棱镜组在全反射镜和光栅之间来回振荡, 于扩束棱镜组的第一块棱镜面上的反射作为耦合输出, 耦合输出率为 23%。染料盒宽 15 mm, 染料盒外表面涂以宽带增透膜, 以减低泵浦光和染料激光的损耗。在染料盒内有一型线导流板, 它能使染料盒隔成两部分, 使染料绕着导流板流动, 最窄的染料流动区域(<1 mm)正是染料激光器的泵浦区。

由棱镜表面上的反射输出的振荡光返回光栅再衍射一次^[2], 然后又经振荡级染料盒, 于振

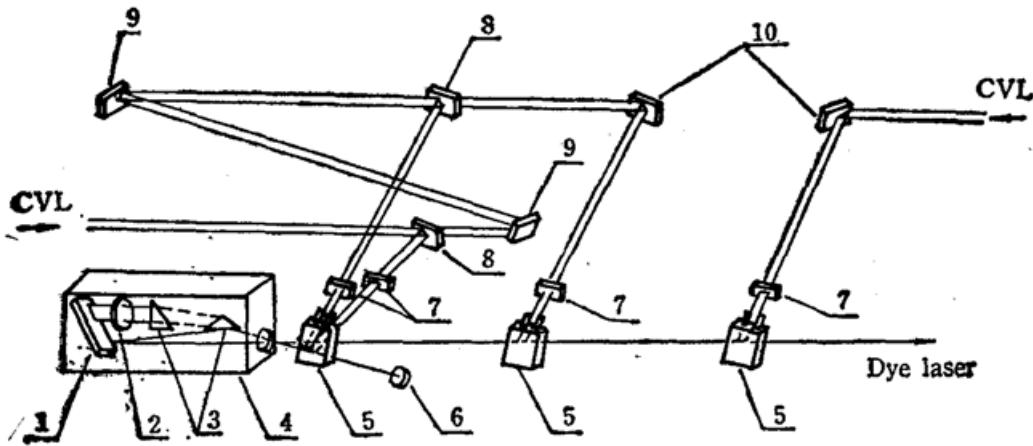


Fig. 1 Schematic diagram of a dye laser oscillator-amplifier system pumped by CVL

1—grating; 2—etalon; 3—prism beam expander; 4—tuning box; 5—dye flow cell; 6—resonator mirror; 7—cyl. focusing lens; 8—beam splitter; 9—delay line mirror; 10—total reflector

荡级泵浦区的上方进行第一级放大。泵浦第一级放大的 OVL 光束比泵浦振荡级的要延迟 4ns。经第一级放大后的染料激光通过自由扩束到达第二级放大器(1×15 mm²)。第二级放大器放大后的染料激光经 3 倍扩束望远镜扩束, 然后进入第三级放大器(1.5×30 mm²)放大。

二、染料激光器性能

染料激光的线宽和光束特性主要由振荡级决定, 而总效率则主要取决于放大器的性能以及泵浦能量在各级之间的分配。由于要满足线宽的要求, 振荡器中必须插入高损耗元件, 因此振荡级的效率是不可能高的, 只有振荡器和放大器组成振荡放大系统才能获得全面的高性能染料激光。

运转条件。铜蒸气激光是由数台 20W OVL 器件^[3]构成振放系统^[4]提供, 黄绿光输出平均功率 60W 左右, 泵浦 Rh6G 染料用纯绿光(510.6 nm), 平均功率通常在 35~40 W 之间, 脉宽 30 ns, 复重率 6 kHz, 输出光束口径 $\phi 30$, 光束发散角 ~ 1 mrad。通常用 1:2 缩孔望远镜将 OVL 激光耦合至染料激光器中, 以便使光束口径($\phi 15$)和所用染料盒宽度相适应。

实验中所用染料为 Rh6G, 溶剂乙醇, 振荡级与第一级放大级染料浓度为 3×10^{-4} Mol。铜蒸气激光束通过柱面透镜聚焦, 在染料盒内形成 $1.5 \text{ cm} \times 0.015 \text{ cm}$ 的焦线, 其深度由染料 Rh6G 的吸收截面、染料溶液的浓度以及激发态吸收截面决定。泵浦功率密度 $\sim 1.5 \text{ MW/cm}^2$ 。

2.1 线宽

染料激光线宽由振荡级选频元件(光栅和标准具)的参数和扩束棱镜组的扩束倍数所决定。染料激光线宽用标准具测量。测量标准具的自由光谱范围 $\Delta\nu_{FSR} = 1/2 dn = 1/6 \text{ cm}^{-1}$ 。所测得的染料激光的干涉环照片示于图 2 上, 染料激光线宽 $\Delta\lambda = 0.0014 \text{ nm}$ 。当腔内不放标准具时所摄得的干涉环照片示于图 3 上, 相应于线宽 0.01 nm

2.2 功率和效率

由于振荡级染料激光功率不易测量, 我们测量了第一级放大后的染料激光功率随泵浦激光功率的变化关系, 实测结果表示在图 4 上。染料激光总功率 $P_s = 6.7 \text{ W}$, 总的泵浦功率 $P = 36 \text{ W}$, 故振放系统总效率 $\eta_i = P_s/P = 6.7/36 = 18.6\%$ 。

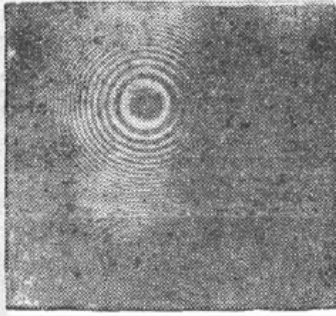


Fig. 2 Interferential fringe of dye laser (intracavity etalon $d=5\text{mm}$).
Monitor etalon $d=20\text{mm}$, $n=1.6$, $\lambda=580\text{nm}$

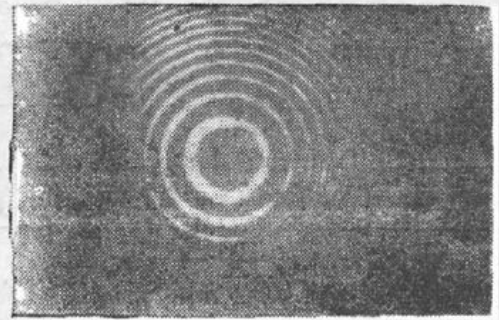


Fig. 3 Interferential fringe of dye laser (no intracavity etalon).
Monitor etalon $d=5\text{mm}$, $n=1.46$, $\lambda=580\text{nm}$

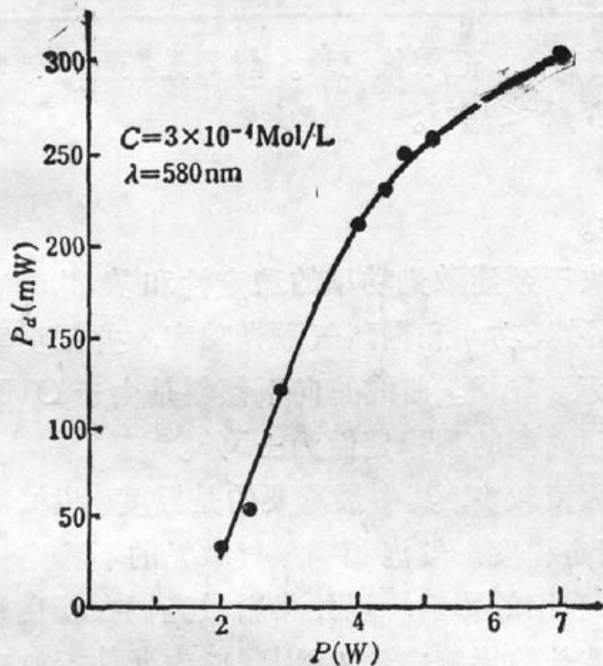


Fig. 4 Output power of dye laser at the first amplifier as a function of pump power (CVL)

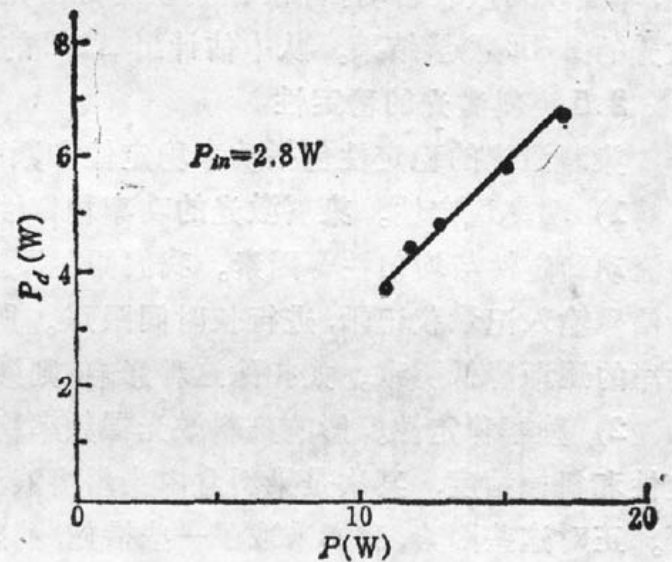


Fig. 5 Output power of dye laser at the third amplifier as a function of pump power (CVL)

对于末级放大器,在固定输入染料激光功率的情况下,测量了染料激光输出功率随泵浦激光功率的变化关系,测量结果表示在图5上。从图可看出当增加泵浦激光功率时,还能有效地取出染料激光能量。有关CVL泵浦激光功率在各级之间的分配,各级的输出功率和效率数据都列在表1中。此时染料激光脉宽为25 ns(CVL的脉宽为30 ns)。

2.3 调谐范围

在文中所列的运转条件下测得的调谐曲线示于图6,调谐范围为563 nm至603 nm。

2.4 光谱纯度

染料是高增益激光介质,一般都有很强的放大自发辐射(ASE)伴随调谐激光输出,严重影响染料激光的光谱纯度。而光谱纯度又是染料激光器应用于光谱研究的重要指标。本文采取与文献[2]相似的方法,将输出的染料激光再射向光栅衍射一次,把染料激光中的ASE成分偏离染料激光的出射方向,从而大大改善了染料激光的光谱纯度。

我们用单色仪扫描法测定了染料激光的光谱纯度。把染料激光和ASE一起输出单色

Table 1. Dye laser output power and efficiency in each stage

	Oscillator	No. 1 amplifier	No. 2 amplifier	No. 3 amplifier
Dye concentration (mol.)	3×10^{-4}	3×10^{-4}	2×10^{-4}	1.5×10^{-4}
Pump power (CVL) (W)	3	4	12	17
Pump power divided by total pump power (%)	8.3	11.1	33.3	47.2
Output power of dye laser (W)	~ 0.003	0.3	2.8	6.7
Amplifier power gain		~ 100	8.3	1.7
Efficiency (%)	1	7	20.8	23.0

仪, 单色仪对波长自动扫描, 出射狭缝处由光电倍增管接收, 记录仪记录。图 7 是振荡级染料激光的 ASE 测量结果。从中估计出 ASE 的大小为 $N/S < 10^{-3}$ 。

2.5 染料激光的稳定性

染料激光的稳定性包括功率稳定性和频率稳定性。

1) 功率稳定性。染料激光的功率稳定性主要取决于泵浦激光功率的稳定性和染料溶液的流动稳定性与均匀性等因素。我们同时测量了染料激光功率和铜蒸气激光功率, 并把功率计信号输入记录仪记录, 进行长时间跟踪。所测曲线示于图 8。曲线的向下倾斜是由于 CVL 功率的逐渐降低所致。如扣除这种影响, 则染料激光随时间的不稳定性为 $\pm 5\%$ 。

2) 频率稳定性。影响染料激光器频率稳定性的因素较多, 其中最重要的是温度、机械稳定性和机械精度, 其次是染料盒内染料溶液流动的安定程度、气泡和铜蒸气激光的不稳定性等。正对这些因素, 我们采取了一些措施, 消除或缩小它们的影响, 以便染料激光器在较良好的条件下运转。例如染料温度的影响: 热效应对激光波长的影响中, 温度引起腔内元件折射率

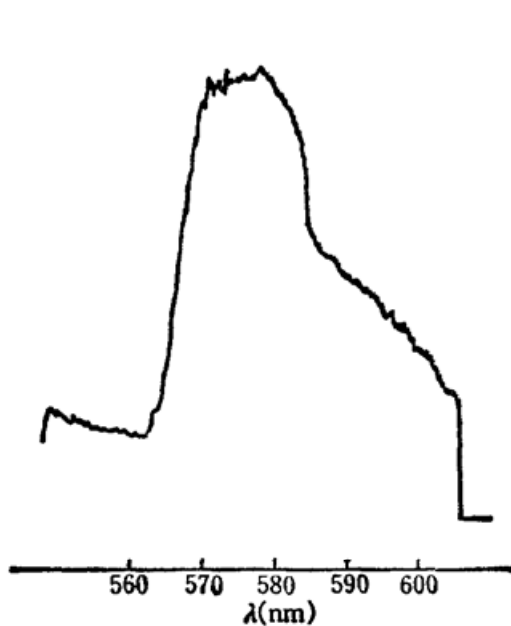


Fig. 6 Tuning of dye laser wavelength (at the first amplifier). $C = 3 \times 10^{-4}$ mol/L

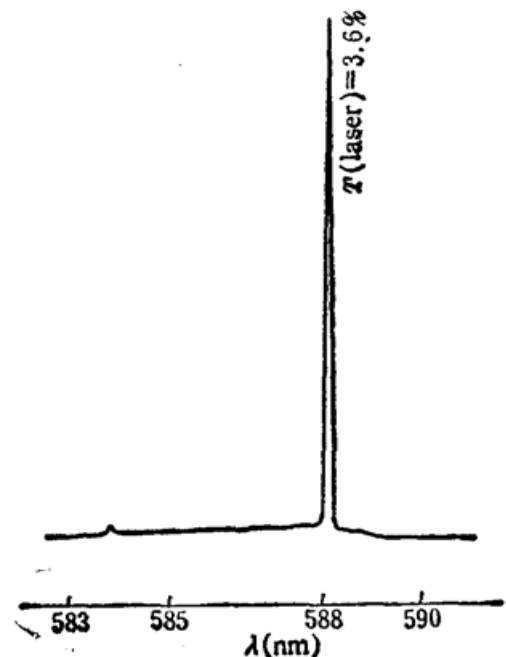


Fig. 7 Relative intensity of dye laser and ASE for an oscillator

的变化起主要作用^[5]。

$$\frac{1}{\lambda} \frac{d\lambda}{dT} = \frac{1}{L} \left(l_a \frac{dn_a}{dT} + l_d \frac{dn_d}{dT} + l_g \frac{dn_g}{dT} \right)$$

式中括号内三项分别是空气、染料和玻璃折射率随温度变化的贡献。其中以染料溶液折射率的变化最为严重，一般要比其它两项大两个数量级。当酒精为溶剂时， $dn_d/dT = 4.0 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 。温度变化 1° ，波长将改变 ($\lambda = 600.0 \text{ nm}$) $\sim 0.01 \text{ nm}$ 。另一方面，染料溶液温度变化的来源是循环泵转动的摩擦生热以及损耗在染料溶液中的泵浦激光能量。这两项热源将引起染料溶液温度相当大的变化。为了稳定染料溶液温度的变化，除装有水冷装置以移去其热效应之外，还对染料溶液进行半导体致冷和温度控制。温度控制精度优于 0.1°C 。

图 9 是用激光波长计对染料激光波长随时间变化的测量结果。每 10s 测量一个数据。可看出在 30 min 内，87% 的几率落在 0.002 nm 范围之内。根据所测数据，算得波长稳定性为 $\frac{\sigma(\lambda)}{\bar{\lambda}} = 1.2 \times 10^{-6}$ ($\bar{\lambda}$ 为波长平均值， σ^2 为方差)。

作者感谢天津理化工程研究院沈婷婷和纪茂立等提供激光波长测量数据。

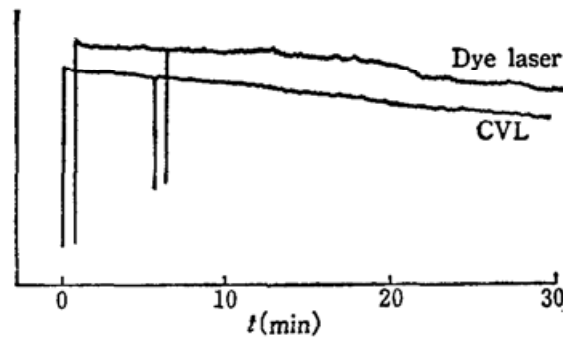


Fig. 8 Output power of dye laser and CVL pump power as a function of time

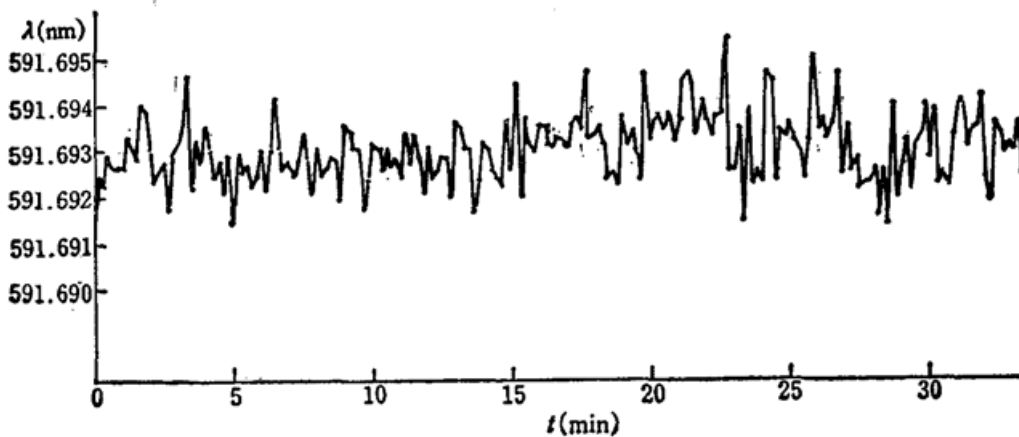


Fig. 9 Wavelength of dye laser as a function of time (measuring one datum per 10 s)

参 考 文 献

- 1 江锦泉, 上官诚 *et al.*, 量子电子学, **4**(4), 315(1987)
- 2 K. L. Hohla, *Laser Focus*, **18**(6), 67(1982)
- 3 梁宝根 *et al.*, 中国激光, **13**(6), 334(1986)
- 4 梁培辉, 杨天立 *et al.*, 中国激光, **17**, 激光器件专集(增刊), 50(1990)
- 5 Chisheng Zhou, *Appl. Opt.*, **23**(17), 2879(1984)