

# 染料激光器的热透镜效应及三重态的消除方法

刘扬满

(华中理工大学激光技术与工程研究院, 武汉, 430074)

摘要: 介绍可调谐连续环状染料激光器的结构, 给出克服热透镜效应和消除三重态的方法。

关键词: 染料激光器 热透镜效应 三重态

## Thermal lens effect and triplet of dye laser and eliminating methods

Liu Yangman

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** The tunable continuous ring dye laser is a useful laser source in nonlinear-optics, laser spectroscopy, photo-chemistry and laser medicine. But the thermal lens effect and triplet are main problems to influence the applications. This paper introduces the cavity structure of the ring laser and the aberration compensation condition to provide the single mode operating. The experimental results show that proper COT added in EG solution can greatly improve the pumping efficiency.

**Key words:** dye laser thermal lens effect triplet

## 引 言

功率高、相干性好、线宽窄的可调谐染料激光器是非线性光学、激光光谱学、光化学、同位素分离、医疗诊断等应用领域中不可缺少的工具。在这类激光器中,最有前途的系统是用离子激光器泵浦的染料激光器,它的光谱覆盖范围从紫外经可见光一直延伸到近红外。

### 1 染料激光器的热透镜效应和三重态

有机染料的荧光辐射带非常宽,因此,这类物质要求非常高的泵浦光强度才能形成激光辐射。通过计算和实验证明,为了达到激光阈值(对若丹明 6G, 损失为 2%),要求泵浦激光功率密度超过  $100\text{kW}/\text{cm}^2$ 。为了获得有用的激光输出,激励的泵浦激光功率密度必须超过阈值功率密度的 2.5~10 倍。因此,1W 的泵浦激光功率必须被聚焦到直径为  $10\mu\text{m}$  左右的光斑。被染料溶液吸收的泵浦光将一部分作为荧光或激光重新辐射,另外的大部分泵浦光将变成热,这种热过程发生在直径为  $10\mu\text{m}$  左右的激活区内,引起染料介质密度局部变化,形成所谓“热透镜效应”,使染料激光器的输出光束质量恶化,激光器的效率降低,甚至引起“温度淬灭”。另一方面,染料分子通过内部交叉效应到达三重态  $T_1$ ,这部分分子没有参与激光作用。更为严重的是,这些分子通过再吸收荧光光子,从  $T_1$  态到达  $T_2$  态。导致激光器损失明显增加。

克服热透镜效应和消除三重态的影响是保证连续染料激光器正常运行的先决条件。热透镜效应可以通过选择具有良好热光特性的激光染料溶剂以及迅速交换激活区的染料溶液来实现。消除三重态的影响可以通过迅速交换激活区的激光介质(机械法消三重态),以及通过在染料溶液中加入适量的化学添加剂(化学法消三重态)来实现。这种添加剂必须能够在无光分解作用下加速处于三重态的分子向基态跃迁。

目前,所见到的连续染料激光器都采用流速和厚度可调的喷流液膜(Jet stream tunable),取代以往采用的染料盒。染料盒的插入增加了吸收和反射损失,使其承受的功率十分有限。同时,染料盒在泵浦光的作用下会碳化 and 分解,使染料溶液受污染,在高泵浦功率密度的情况下,染料盒被破坏。喷流液膜不受上述限制,液膜的厚度和流速可以调整到最佳值。实验证明,对于多数激光染料溶液,液膜的流速在 7m/s 以上就可以达到消除三重态的目的。通常,用作消三重态的化学药剂是 Clooctetraene(COT),或以分子式表示为  $H_8C_8$ 。在染料溶液中,加入适量的 COT 能使染料激光器的效率显著提高。

## 2 实验装置-环形染料激光器

染料激光器是一种均匀加宽系统。对均匀加宽系统的数学分析表明,这种系统可以单模运转。但是,图 1 所示的三镜线型折叠腔在单模运转时会形成如图 2 所示的驻波。这就限制了泵浦体积内激活分子的充分利用。

这种由于激活介质内不均匀磁场引起的空

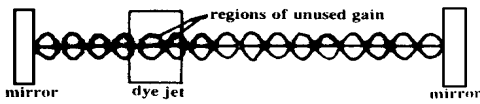


Fig. 2 A standing wave operating in longitudinal mode

间烧孔效应,使激光器的输出功率受到限制。因为谐振腔中驻波的最大值(波腹)与最小值(波谷)在空间位置上不随时间变化,处于波节处的分子不产生受激辐射,所以节点处附近增益比其它地方高得多,它们可以在不同的波长上产生非受激辐射,这是线型激光器经常处在多模工作状态的原因。为了选出单纵模,必须用菲涅耳数高的法布里-泊罗干涉仪(F-P 干涉仪)来抑制不必要的振荡模,菲涅耳数愈高,通过它的光蒙受的损失愈大。因此,随着泵浦功率的增加,为了维持激光器单纵模运转,F-P 干涉仪造成的损失也随之增加。使线型腔的单纵模输出功率受限制。行波环型染料激光器不会产生驻波,使用低菲涅耳数( $F = 2$ )的 F-P 干涉仪的情况下,就可保证单纵模运转。当光腔参数确定后,环型染料激光器的输出功率主要取决于可供使用的泵浦功率。行波环型染料激光器如图 3 所示。

泵浦激光束用一曲率半径为 10cm 的凹面镜聚焦到流动液膜上。围绕着荧光斑点用全反射镜  $M_1, M_2, M_3$  和  $M_4$  撑开成 8 字形腔,为了减小反射损失,染料液膜表面与由  $M_1, M_2$  构成的光腔轴线成布儒斯特角  $\varphi_B$ ,  $\varphi_B$  必须满足

$$\tan \varphi_B = n \tag{1}$$

$\varphi_B = 53.16^\circ$ ,  $n$  为激活介质的折射率。由于角度  $\varphi_B$  的存在,使光束的偏振面平行于纸面,因此,泵浦光束的偏振面也必须在同一个平面内偏振。以角度  $\theta$  斜入射在  $M_2$  和以角度  $\psi$  入射在液膜上的同一光束引起像差,当角度和液膜厚度满足下列关系时,像差正好得到补偿。

$$2Nt = R \sin \theta \cdot t \cos \theta \tag{2}$$

$$N = (n^2 - 1) / (n^2 + 1/n^4) \tag{3}$$

$R$  为凹面镜的曲率半径,  $t$  为液膜厚度。通常,  $M_3$  是一凹面镜,其曲率半径在 20cm~ 30cm 的范围内选取,以此形成一个辅助束腰,内腔倍频器件置于该束腰上,以充分利用高的内腔功率。

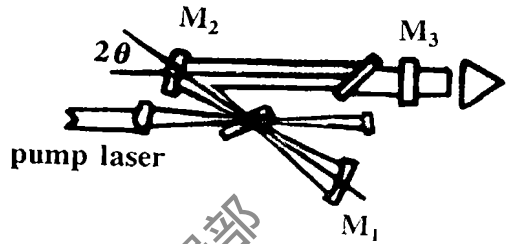


Fig. 1 Folded 3-mirror cavity with internal Brewster angle cell

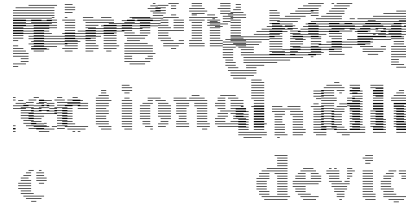


Fig. 3 Schematic diagram of tunable ring dye laser

为了保证染料激光器工作在行波单纵模状态,必须插入以下调谐元件:(1)双折射滤波器。用来选择某一特定频率内的激光振荡纵模。通过改变其相对折射率对激光振荡频率进行调谐。在与光腔轴线成布儒斯特角的双折射滤波器,其非常光的有效折射率可以通过绕自身的法线旋转来改变。(2)F-P干涉仪。它是用来选出单纵模,该纵模是由双折射滤波器选出纵模中振幅最大的一个。也就是说,F-P干涉仪对频率进一步压缩。(3)单向元件。它用来保持腔内光波单向传播,即所谓行波。它由一个法拉第旋转器和一个有源光学元件组成。它们与  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  和  $M_4$  一起,共同组成一个宽带环形染料激光器。

### 3 实验结果

若丹明 6G 溶解在乙二醇(简写成 EG)中,加入适量的 COT,效率提高 58% 左右,而若丹明 6G 溶解在混合溶液 Ammonyx-LO:H<sub>2</sub>O=9:5 中,效率提高到 60% 以上。染料激光器的输出功率与溶液中含 COT 的浓度关系如图 4 所示。曲线 a 表示若丹明 6G 溶解在 Ammonyx-LO:H<sub>2</sub>O=9:5 的混合溶液中,泵浦功率为 1.5W。曲线 b 表示若丹明 6G 溶解在 EG 中,泵浦功率为 1W。由图可知,在后一种溶液中,输出功率随 COT 的增加而增加,当 COT 的浓度约为  $15 \times 10^{-3}$  mol/L 时,激光输出达到饱和,即使 COT 的浓度超过最佳值,激光输出仍然保持不变。而在 Ammonyx-LO:H<sub>2</sub>O=9:5 溶液中,COT 的浓度超过这一最佳值以后,激光器的输出下降。其原因是 COT 的加入改变了混合溶液的粘度,因为 Ammonyx-LO 的粘度对添加剂十分敏感。COT 的化学性质极不稳定,如果让它与空气中的氧气接触,会变成油状,使激光器输出的单模抖动增加。所以,待用的 COT 必须密封在安瓶中,放在冷藏箱内保存,以保持其纯态。又因为它在常温下极易挥发,因此,必须定时在溶液中添加 COT,以维持溶液中 COT 的适当浓度。这种化学药品具有一种非常难闻的气味,对身体有害,使用时必须采取安全措施。

染料溶液中加入适量的 COT,一方面可达到消三重态的目的,另一方面可以改善溶液的粘度,喷流液膜更加均匀,使激光器的效率明显提高。

#### 参 考 文 献

- Peterson O G, Tuccio S A, Snavely B B. A P L, 1970; 17: 245
- Kogelikh H W, Ippen B P, Dienes A *et al.* IEEE J Q E, 1972; QE8: 373
- Yarborough J M. A P L, 1974; 24: 629~ 630
- Johnston T F, Brady R H Jr, Proffitt W. Appl Opt, 1982; 21: 2307~ 2316
- Leutwyler S, Schumacher E, Woest. Opt Commun, 1976; 19: 197~ 200
- Baving H J, Munss H, Sholaut W. Appl Phys, 1982; B29: 19~ 21
- Tuccio S A, Strome F C Jr. J Appl Opt, 1972; 11: 64~ 73
- 刘扬满. 激光技术, 1988; 12(4): 5~ 7
- 刘扬满. 应用激光, 1988; 8(6): 263~ 267

\* \* \*

作者简介:刘扬满,男,1942年8月出生。副教授。主要从事激光器件、激光技术和激光电源的研究工作。

收稿日期:1998-04-18 收到修改稿日期:1998-07-02

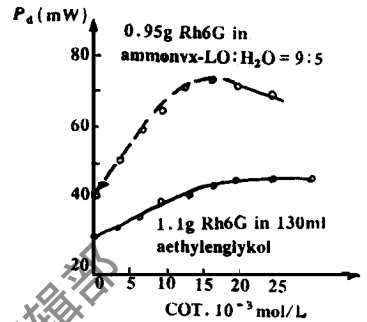


Fig. 4 The output of ring dye laser as a function of COT concentration