

内透镜增大染料激光器的输出

黄永楷 李彬学 徐根传

(中国科学院上海光机所)

提要: 研究了具有内透镜的脉冲染料激光器提高激光输出功率的物理机理。理论与实验结果较好符合。

Increasing output of dye laser by inserting an intracavity lens

Huang Yongkai, Li Binxue, Xu Genchuan

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

Abstract: Physical mechanisms of increasing output power of pulsed dye laser by inserting an intracavity lens are studied. The theoretical analysis is in agreement with experimental results.

一、引言

Lisboa 等人^[1]在掠入式光栅调谐染料激光器内引入一个内透镜,提高了输出功率,同时也压窄了激光振荡线宽;Yodh 等人^[2]接着对这个问题作了进一步的实验和机理分析。我们认为,关于这一问题,特别是内透镜的作用和最佳效果等很有作进一步分析的必要。为此,我们进行了新的实验研究和理论分析。

二、实验装置

实验装置如图1所示。泵浦光源为N₂激光器,输出波长337.1nm,脉宽4~6ns,功率约300kW。泵浦光束用焦长为10cm的柱透镜聚焦,照在浓度为10⁻⁸M的若丹明6G染

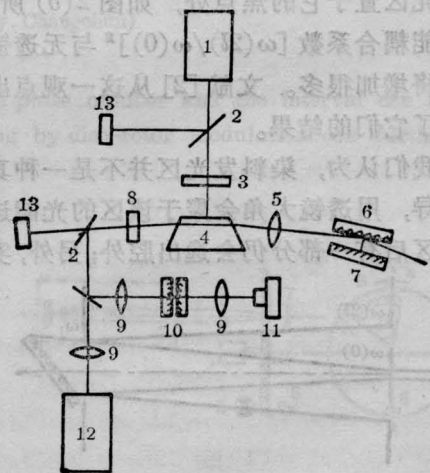


图1 实验装置

- 1—N₂激光器; 2—分束片; 3—柱透镜; 4—染料盒; 5—内透镜; 6—光栅; 7—调谐反射镜;
- 8—输出半反镜; 9—聚光镜; 10—F-P干涉仪;
- 11—相机; 12—单色仪; 13—晒光电池

收稿日期: 1986年8月5日。

料盒上;色散光栅的刻线为 1200 条/mm,二级工作,入射角为 87° ;实验采用焦距 6.63 cm 的内透镜;调谐全反射镜尽可能靠近光栅;输出镜为反射率 50% 的平面半透介质膜;激光相对光强用硒光电池监测;波长用 $f=0.5\text{ m}$ 的单色仪测量;线宽用 3.3 mm 间距的 F-P 干涉仪测量,并用胶片记录其干涉条纹。

三、实验结果与分析

提高激光输出功率是改进激光性能的一个重要内容。对染料激光器而言,由于增益区是一条细丝,因此,荧光从该区端面射出时发散角很大,再加上色散光栅与调谐反射镜皆为平面镜,因而,光束再从调谐反射镜经光栅返回染料盒时,只有很少一部份光返回增益区,如图 2(a) 所示。若令染料盒的出射光束直径为 $\omega(0)$,则经由调谐镜返回到该处的光束直径便为 $\omega(2l)$ 。由图可见,荧光的很大一部份将逸出增益区外而损失。从几何光学考虑,此能量损失与 $[\omega(2l)/\omega(0)]^2$ 成正比。如果在腔内引入一个透镜,且将染料盒发光区置于它的焦点处,如图 2(b) 所示,则光能耦合系数 $[\omega(2l)/\omega(0)]^2$ 与无透镜时相比将增加很多。文献 [2] 从这一观点出发解释了它们的结果。

我们认为,染料发光区并不是一种真正的波导,用透镜大角会聚于该区的光能进入增益区后有一部分仍会逸出腔外;另外,实际

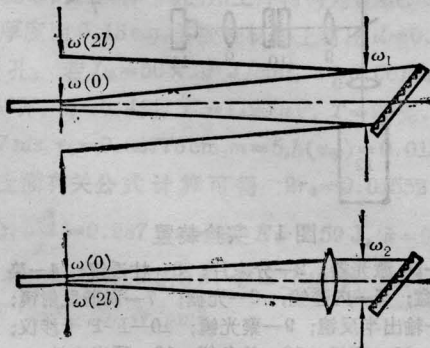


图 2 腔内、无透镜时的光束轨迹
(a) 无内透镜; (b) 有内透镜

的激光器的腔内振荡模式亦不完全与图 2 所示的几何模式相似。

为此,我们进行了腔内透镜位置与激光输出功率的实验研究。根据激光振荡模式理论,内透镜在腔内的作用主要是引起腔型变化,从而改变振荡模的参数。适当选择内透镜的位置,使振荡模体积在腔内的分布与激活区相匹配,便能增大荧光耦合,提高激光功率输出。

我们可以把含内透镜的激光腔看成是一种组合腔。在我们的情况下,就可以把它看成是如图 3 所示的由两个平-凹腔组成的组合腔。该腔两凹面镜的曲率半径可表示为^[3]

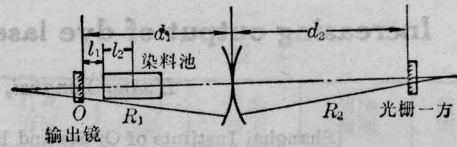


图 3 组合腔

$$R_1 = \frac{f\left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right) - 2}{\frac{1}{d_2} - \frac{1}{f}} \quad (1)$$

$$= \frac{f\left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{L-d_1}\right) - 2}{\frac{1}{L-d_1} - \frac{1}{f}},$$

$$R_2 = \frac{f\left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right) - 2}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{f}}$$

$$= \frac{f\left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{L-d_1}\right) - 2}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{f}} \quad (2)$$

因此,该腔的稳定性判据就为

$$0 < \left(1 - \frac{2d_1}{R_1}\right) \left(1 - \frac{2d_2}{R_2}\right) < 1 \quad (3)$$

稳腔的腔内高斯光束的传输参数为^[4]

$$\omega_i^2(z) = \omega_{0i}^2 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi \omega_{0i}^2} \right)^2 \right] \quad (4)$$

$$\omega_{0i} = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi}} [d_i (R_i - d_i)]^{1/4}, \quad (i=1, 2) \quad (5)$$

式中 $\omega_i(z)$ ——模在 z 处的光束半径, ω_0 ——束腰半径, R_i ——腔的曲率半径。这里, 我们感兴趣的是光束在染料盒中心处的模斑半径 $\omega(c)$ 随透镜移动的变化关系。比较理论值 $\omega(c)$ 与实际激活区半径 σ 值, 我们就能说明激光输出功率与内透镜位置之间的关系。考虑到染料溶液折射率的影响, 求得的 $\omega(c)$ 还需乘一修正因子 $K \left(= \frac{l_1 + l_2/n}{l_1 + l_2} \right) < 1$, 式中

n 为溶液折射率, l_1, l_2 分别为输出镜至液池端面 and 中心的距离(图 3)。这里有三种情形:

(1) $k\omega(c) < \sigma$ 。由(5)式可见, 当透镜移至 $R_1 \approx d_1$ 时, ω_{01} 趋于零。这时 $k\omega(c) < \sigma$ 。它意味着激活区的粒子数不可能完全提供给振荡模作有功输出。因而输出功率下降; (2) $k\omega(c) \approx \sigma$ 。这时匹配最佳, 激光输出功率最大。利用(4)式可算出内透镜的最佳位置; (3) $k\omega(c) > \sigma$ 。这时, 激光输出功率又下降。因为此时由增益区提供的能又只有一部分供给模振荡, 其余部分将逸出增益区而被染料盒的侧窗和未激活的染料折射、散射和吸收。随着模积的增大, 输出功率将愈来愈小。

理论计算与实验值示于图 4。实验和计算参数为 $\lambda = 600.7 \text{ nm}$, 总腔长 $L = d_1 + d_2 = 26.66 \text{ cm}$, 染料盒中心离输出镜为 3.98 cm , 内透镜焦距 $f = 6.63 \text{ cm}$, 激活区半径(σ)约为 $90 \mu\text{m}$, $k = 0.8$ 。由图可见, 在我们的实验条件下, 虽未作到完全匹配, 但 $(\sigma/k\omega(c))^2$ 相对值的变化趋势, 其实验值与理论值是一致的。测量激光输出功率的误差约为 $\pm(10 \sim 20)\%$ 。

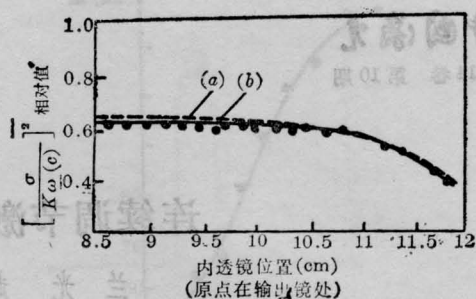


图 4 内透镜位置与激光输出相对功率的关系曲线
(a) 计算值; (b) 实验值

应当指出的是, 当透镜的距离移至 $d_1 = 12.40 \text{ cm}$ 时, 谐振腔变为非稳腔, 方程无解。在我们的实验条件下, 增益池中心处的模斑半径与激活区半径能够较好匹配的内透镜位置在 8.5 至 10.5 cm 之间。当透镜移至 $d_1 = 14.3 \text{ cm}$ 的位置时, 谐振腔又为稳腔, 并在 15.1 cm 的范围内又有一个匹配区。

由此可见, 为了使内透镜能最有效地增大染料激光器的输出功率, 在实验设计时, 应事先估算一下增益区与模斑匹配时的内透镜位置。在我们的实验中此值为 9.1 cm 。这时, 与无内透镜时相比, 激光输出功率增大 $3 \sim 4$ 倍。理论值与实验值基本符合。

由于内透镜的引入, 还可增大照明色散光栅的模斑半径, 故可压窄激光振荡的线宽。

参 考 文 献

- [1] J. A. Lisboa et al.; *Opt. Commun.*, 1983, **44**, 393.
- [2] A. G. Yodh et al.; *Appl. Opt.*, 1984, **23**, 2040.
- [3] 凌君达;《激光》, 1978, **5**, No. 5-6, 146.
- [4] H. Kogelnik, T. Li; *Appl. Opt.*, 1966, **5**, 1550.

我国研制出实用性相干光纤通讯激光信号源

南京工学院在北京大学和中国计量科学研究院协作下, 在我国首次研究成功了 $1.52 \mu\text{m}$ He-Ne 激光相干光纤通信信号源。其指标为: 单模输出功率 0.45 mW , 频率稳定性为 10^{-10} 量级(1秒和 10 秒取样时间), 二台激光器的拍频线宽小于 1 MHz , 拍频漂移量小于 1 MHz , 室温下连续工作 24 小时以上

不跳模。激光器的寿命大于 1 万小时。该稳频 He-Ne 激光器可用作相干光纤通讯信号源或本振器。

这项高技术成果于 1987 年 4 月 26 日通过了省级技术鉴定。

(南京工学院 胡正荣
1987 年 6 月 10 日收稿)