

铜蒸气泵浦染料激光器输出功率 与谐振腔结构的关系

梁培辉 刘盾

(中国科学院上海光机所)

Output power of dye laser pumped by Cu vapor laser with different oscillator structures

Liang Peihui, Liu Dun

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

Abstract: By means of experiment and simple theory, we investigated the output power of the tunable dye laser pumped by a Cu vapor laser with planar and concave mirrors used as the front mirror of the dye laser respectively. The experimental result shows that for the same oscillator length there is a higher output power for the concave one than that for the planar one, which agrees with our theory.

一、引言

铜蒸气泵浦染料可调谐激光器具有重复率高、输出功率高等优点，是应用激光光谱中的重要激光器件。器件结构见图1。用 Littrow 光栅和平面镜组成了谐振腔。如图1的染料激光器的前腔板一般都采用平板玻璃($R=8\%$)，其优点是装调方便，但考虑到染料槽的宽度只有0.3mm，光束的衍射角大(约 2.5mrad)，因此谐振腔的衍射损耗大。在某些实际应用中， M_1 与染料槽间往往还要留出一段距离以便插入光学元件，衍射损耗则将加大。为了提高器件的效率，我们采用凹面反射镜代替平板。



图1 染料激光器结构图

二、实验研究

染料激光器的泵浦源是铜蒸气激光，波长为 510.6nm ，脉冲宽度为 $20\sim 30\text{ns}$ ，重复率为 6kHz 。

染料为 R6G，溶剂为酒精，工作时处于循环状态。染料工作波段在 590.0nm 附近。泵浦光经两个柱透镜汇聚到流动的染料上，泵浦功率为 2W 。染料的工作长度为 8mm ，截面为 0.3mm 。

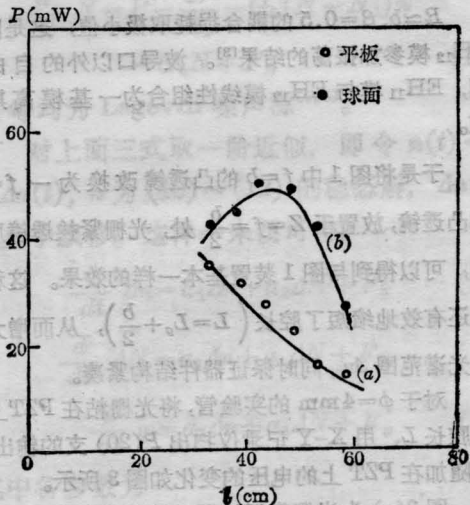


图2 染料激光器的输出功率实验曲线。横坐标 l 为负透镜到染料盒的距离，纵坐标为染料激光器的输出功率

当 M 为平板玻璃时, 其输出功率与腔长的关系如图 2 的曲线(a)所示。显然, 当振荡器的腔长超过半米时, 激光功率输出便严重下降。

在同样输入泵浦条件下, 改用 $R=500\text{ mm}$ 的双凹负透镜, 其输出功率与腔长的改变的函数关系有如图 2 的曲线(b)所示。

不难看出, 当球面镜到染料盒的距离接近球面镜的半径时, 输出功率达到极大值。与相同距离的平面镜相比, 功率提高一倍。

三、理论分析

图 1 所示的激光器的特点一是染料盒的通光尺寸非常小, 因而它象一光阑, 对光的传输有着很大的影响, 二是它处于非稳腔工作状态。 ($g_1=1-\frac{R_1}{L}<0, g_2=1$, 所以, $g_1g_2<0$)。因而我们试图从非稳腔的几何光学成像理论简单地讨论一下激光在腔内来回一次后的输出功率。

实验中染料盒到前后腔板的距离远远大于染料盒的长度, 因此可以近似地将染料盒看作是一横向宽度为 0.3 mm , 纵向无限的光阑。根据几何光学传输原理, 对所用的两种腔结构, 经过输出腔板反射回来的光在光阑上的横向尺寸 d_1 , 以再次经过染料盒和光栅反射回来的光在光阑上的横向尺寸为 d_2 (见图 3、图 4)。假定激光的横向输出是均匀的, 染料增益处于非饱和状态, 并忽略纵向发散角的影响(因为尺寸差了一个数量级), 不难看出激光器的输出功率将正比于反馈量 d^2/d_1d_2 , d 为染料盒的横向尺寸。在下面的讨论中, 我们忽略了四棱镜系统的作用, 并认为当 d_1 和 d_2 中的任意一个的值小于光阑孔径

$d=0.3\text{ mm}$ 时, 它的值就为 0.3 mm 。这也是很好理解的, 因为此时放大效率都是一样的(处在未饱和状态)。

对于平-凹腔, 设光源是从平板后的一个虚焦点发出的, 见图 3。该焦点距平板的距离 l_2 以及它的共轭像到凹面的距离 l_1 都可利用非稳腔理论给出的公式^[1]算出, 为:

$$l_1=L-\sqrt{L(L-R)} \quad (1)$$

$$l_2=\sqrt{L(L-R)} \quad (2)$$

式中 L 为谐振腔长, R 为凹面的曲率半径。根据图 3 的几何图像关系算出

$$d_1=\frac{l-l_1}{l_1}(l_2+l_3+l)\frac{d}{l_2+l_3} \quad (3)$$

式中 l 为从凹面到染料盒的距离, 它是一变量; l_3 是染料盒到光栅的距离, 这里为 21 cm 。从 O' 点发出的光只有在角度 $\theta(\theta=\text{tg}^{-1}\frac{d}{l-l_1})$ 内的才能再次通过光阑, 由此算出

$$d_2=(2l_3+l-l_1)\frac{d}{l-l_1} \quad (4)$$

所以

$$d^2/d_1d_2=\frac{l_1(l_2+l_3)}{(2l_3+l-l_1)(l_2+l_3+l)} \quad (5)$$

在平面腔的情况下, 从染料盒发射出来的激光发散角约为衍射极限的 2 倍, 约 5 mrad , 因此可以认为激光器是处在光栅与染料盒之间, 距染料盒为 l_0 处发出的。从这点发出的激光传播到染料盒时, 正好充满 0.3 mm 的光阑孔径。由此算出 $l_0=5.9\text{ cm}$ 。由图 4 可知, 以上述方式发出的激光将两次受到光阑的限制, 而只有很少一部分两次通过光阑。这部

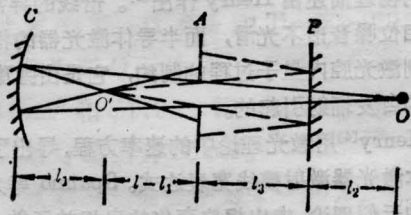


图 3 平凹腔的光线传输图

C—凹透镜 A—光阑 P—平板

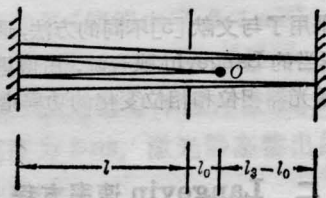


图 4 平面腔的光线传输图

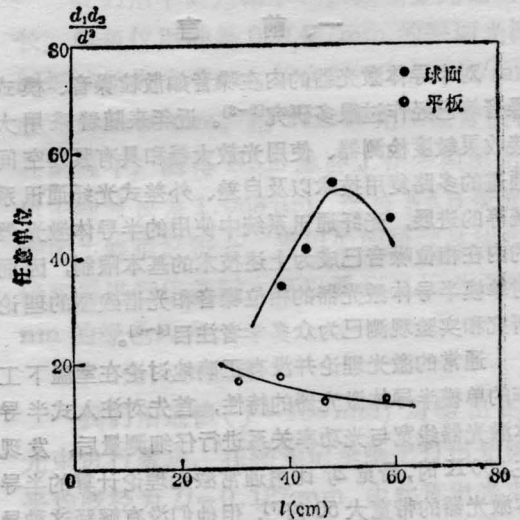


图 5 染料激光器的理论输出曲线

分光初次通过光阑时的宽度 d' 为

$$d' = \frac{dl_0}{(l_0 + 2l + 2l_0)}, \quad (6)$$

它与 d 的比值正比于激光器的输出功率。

根据(5)、(6)两式,由实验所给的 l 值绘出了激光输出功率的理论曲线,见图5。

从图5可以看到,平-凹腔的激光输出功率随着 l 的增长出现从小到大,再变小的过程,最大值在 $l=R$ 附近。平面腔的激光功率则是随着 l 的增加

单调地减少。在 $l=R$ 附近,平-凹腔的输出功率大于平面腔的输出功率。这些结果都与实验结果相符。

参 考 文 献

[1] 周炳昆等;《激光原理》,p. 380,国防工业出版社(1983)。

(收稿日期:1986年5月6日)

单模半导体激光器的相位噪声

叶嘉雄

(华中工学院光学系)

Phase noise of single mode semiconductor lasers

Ye Jiexiong

(Department of Optics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan)

Abstract: Following Langevin rate equations, the expressions of phase noise power spectrum density are obtained and the results in good agreement with experiment and calculations are given.

一、前 言

对半导体激光器的内在噪音如散粒噪音、模式噪音等已经作过很多研究^[2-3]。近年来随着采用大接收灵敏度检测器、使用光放大器和具有紧凑空间通道的多路复用技术以及自差、外差式光纤通讯系统等的进展,光纤通讯系统中使用的半导体激光器的内在相位噪音已成为上述技术的基本限制,因而对单模半导体激光器的相位噪音和光谱线型的理论研究和实验观测已为众多学者注目^[4-6]。

通常的激光理论并没有正确地讨论在室温下工作的单模半导体激光器的特性,首先对注入式半导体激光器线宽与光功率关系进行仔细测量后,发现在300 K时,带宽 Δf 比用通常激光理论计算的半导体激光器的带宽大50倍^[7],但他们没有解释这种异常增宽的原因。

实验指出^[6],在每个激光器功率谱的主峰,被几个相等间隔为1~2 GHz的子峰所围绕。这种异常增宽的物理描述由Henry作出^[4]。谱线的异常增宽由于相位噪音谱不光滑,而半导体激光器的相位噪音受到激光腔内量子过程的制约,它是由弛豫振荡期间的自发辐射引起的。

Henry^[4]用激光理论中的速率方程,导出了单模半导体激光器激光模线宽表达式。Spanno等人^[5]提出一种近似理论,求出相位变化的自相关函数,从而导出单模半导体激光器相位噪音功率谱密度近似表达式。

我们采用了与文献[5]不同的方法,通过速率方程,加上适当的Langevin噪音源,用傅里叶积分导出半导体激光器相位和相位变化的功率谱密度分析表达式。

二、Langevin 速率方程

在半导体激光器中有三个变量:场强 I 、少数载