

## 铜蒸气激光器光束方向性与它所泵浦的染料激光器的效率的关系

梁培辉 孙晓翔 张峭峰 沃敏政 任虹 王志英

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 实验结果表明,当铜蒸气激光的发散角从8 mrad 改善到1 mrad,它所泵浦的染料激光器的输出功率提高一倍多。这个结果与文中给出的几何光学分析是一致的。由此可见,作为泵浦光源的铜蒸气激光器采用注入锁定非稳腔结构最为合适。

### Beam divergence of copper vapor laser versus efficiency of dye laser pumped with it

Liang Peihui, Sun Xiaoxiang, Zhang Shaofeng, Wo Minzheng, Ren Hong, Wang Zhiying

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

**Abstract:** Experimental results is presented which show that at the pumping level of 5W, when the beam divergence of copper vapor laser reduces from 8 mrad to 1 mrad, the output power of the dye laser pumped with it will be doubled or more. Further improvement of divergence, however, can only result in slight increase of efficiency of the dye laser. This conclusion is in good agreement with the simple analysis of geometric optics. Thus, injection locked unstable resonator is the best arrangement for copper vapor laser as pumping source for dye lasers.

果来回答这些问题。

### 一、引言

定性地看,泵浦光方向性差,经过聚焦光学系统之后,被激活的染料由于功率分布不集中,相当大一部分达不到激光振荡阈值,结果造成转换效率不高。因此,从激光工程应用的角度来看,我们有必要了解铜蒸气激光器的方向性与由它泵浦的染料激光器的输出功率的关系,铜蒸气激光器的方向性是否有必要改善到衍射极限,即要达到单横模运转?

本文将用简单的几何光学理论和实验结

### 二、铜蒸气激光的方向性

激光束的方向性可以用光束的角谱  $f(\theta)$  来描述,  $\theta$  是被测光线与光束轴向的夹角,如令  $\theta=0$  即轴向光束的强度为1,  $f(\theta)$  代表  $\theta \sim \theta+d\theta$  间激光束的相对强度。

我们也可以采用积分函数

$$\phi(\theta) = \int_{-\theta}^{\theta} f(\theta) d\theta$$

收稿日期: 1986年11月28日。

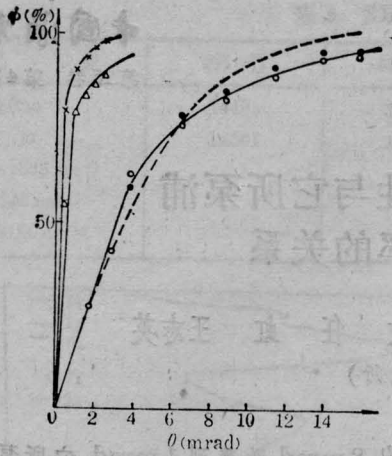


图1 铜蒸气激光器的方向性实验曲线

×—注入锁定; △—非稳腔;  
●—平凹稳定腔; ○—平面稳定腔  
输出功率 5 W 左右,虚线是  $\theta_0=8$  mrad 时高斯型分布的理论值

来描述光束的方向性。

图1分别给出稳定腔、望远镜式非稳腔和注入锁定非稳腔条件下铜蒸气激光器的  $\phi(\theta)$  曲线。激光器的孔径为  $\phi 26$  mm, 输出功率为 5 W 左右。稳定腔由平面-平面或平面-凹面反射镜组成, 输出端平面镜为不镀膜的平行玻璃平板。

一般来说,  $f(\theta)$  的形状比较接近于高斯型, 即  $f(\theta) \sim \exp(-\theta^2/\theta_0^2)$ 。为了进行比较, 针对稳定腔的  $\phi(\theta)$  实验曲线, 在图1中我们也给出高斯型分布的理论曲线。可以看出, 实际上  $f(\theta)$  在  $\theta$  较大时衰减得较慢, 故实验得到  $f(\theta)$  分布介于高斯型与指数型之间。

### 三、几何光学分析

铜蒸气激光泵浦染料激光器采用横向泵浦的方法, 即泵浦光束经柱面镜(常用两块轴线正交的柱面镜)聚焦落在染料池内。假定染料浓度合适, 泵浦光绝大部分被染料吸收, 见图2。染料呈片流通过, 为简单起见, 我们只考虑染料激励程度的一维变化。

泵浦光方向性即发散度对染料激光器主

要有如下两种影响: 一种是传输损耗, 因光束扩散变大而只有部分光通过光学系统; 另一种是激活不均匀, 其中只有部分达到激光振荡的阈值。

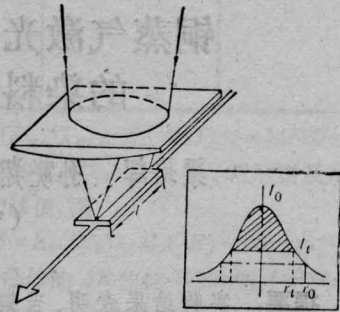


图2 铜蒸气激光泵浦染料激光器的光路示意图

右下图表示染料池横截面上泵浦功率密度的空间分布

设铜蒸气激光器输出腔板到聚焦透镜的距离为  $L$ , 透镜通光孔径为  $D$ , 并假定后面光路上元件的口径足够大, 不造成对泵浦光束的阻拦, 那末, 泵浦光方向性对传输效率的影响可以用  $\eta_1 = \phi\left(\frac{D}{L}\right)$  来描写。若  $L=4$  m,  $D=5$  cm, 由图1可以得出, 在非稳腔和注入锁定条件下,  $\eta_1=1$ , 而在稳定腔的情况下,  $\eta_1=0.9$ 。

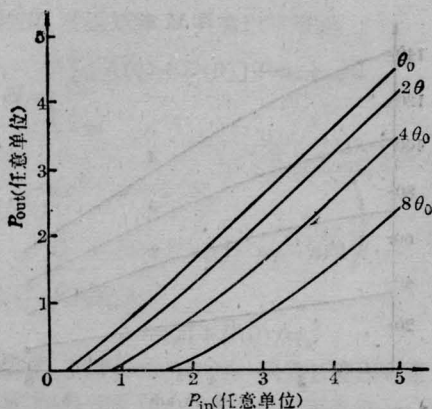
忽略柱面镜造成的球差及其它使聚焦变形的因素, 染料池上泵浦功率密度的分布正比于泵浦光束的角谱分布。如果染料激光器要求的振荡阈值功率密度为  $I_t$ , 相当于振荡的区域是在  $-r_t$  到  $+r_t$  之间, 故能转变成染料激光的功率只是分布曲线顶上的一部分(见图2打斜线部分)。令  $\eta_2$  代表染料的激光转换效率, 得如下表达输入泵浦光功率与染料激光功率的式子:

$$P_{in} = I_0 l \int_{-\infty}^{+\infty} f(r) dr \quad (1)$$

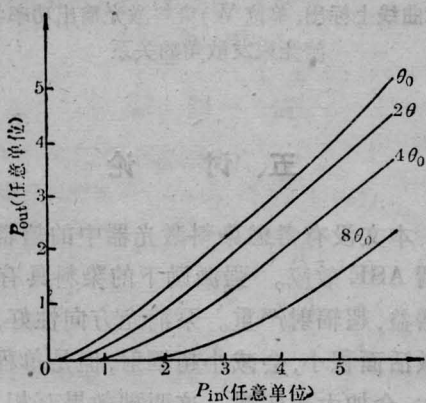
$$P_{out} = \eta_2 l \left\{ \int_{-r_t}^{+r_t} I_0 f(r) dr - I_t r_t \right\} \quad (2)$$

在分布函数是指数型的条件下, 公式(2)可以变成下面的解析表达式:

$$P_{out} = \eta_2 \left\{ P_{in} - I_t \theta_0 - I_t \theta_0 \ln \frac{P_{in}}{I_t \theta_0} \right\} \quad (3)$$



(a)



(b)

图3 计算曲线: 不同发散角  $\theta_0$  情况下泵浦输入功率与染料激光器输出功率的关系。纵横坐标均为相对单位

(a)角谱为指数分布; (b)角谱为高斯分布

式中  $\theta_0$  为泵浦光束的发散角。图 3(a)为上式的函数图像。当分布函数为高斯型时, 虽然由于(2)式中的定积分没有简单的表达式, 但用计算机不难得出与图 3(a) 相似的图解, 见图 3(b)。

从公式(3)或是图 3(a)与图 3(b)我们可以清楚地看到, 对于给定的染料激光振荡器, 泵浦光的方向性愈好, 即发散角愈小, 则振荡器的阈值泵浦功率愈低, 输入-输出曲线的斜率也愈大, 最后接近染料的激光转换效率  $\eta_2$ 。

作为工程性的分析, 我们以振荡器的阈值功率为尺度。当输入功率比阈值大一个数

量级以上时, 曲线的斜率便接近  $\eta_2$ , 但发散角  $\theta_0$  愈大, 这个过程就愈缓慢。因此发散角对染料激光器的效率会有明显的影响。指数型与高斯型的角谱分布函数导致的结果是相似的。

#### 四、实验方法与结果

图 4 为实验装置示意图。

为了获得发散角可控的泵浦光束, 我们在已有的铜蒸气振荡放大系统中放置 1:1 光学望远镜, 焦点处安放一只孔径可变的光阑使振荡器输出的光束被改造为发散角一定的入射信号, 再由放大器放大。

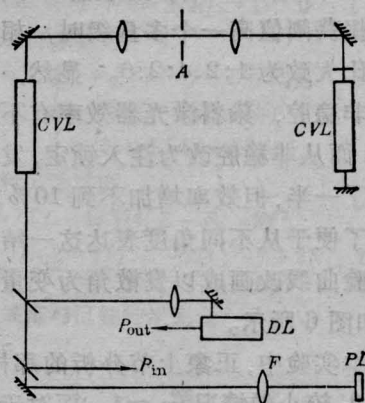


图4 实验装置图

CVL—铜蒸气激光器; A—光阑; DL—染料激光器;  
PD—光敏二极管阵列;  $P_{in}$ —输入光功率监视;  
 $P_{out}$ —染料激光功率监视

我们先采用稳定腔作振荡器。但要得到方向性很好而功率较高的输出时, 我们还是改用  $M=10$  的望远镜非稳腔作振荡器。

染料激光器的结构类似于[1]所介绍的器件。两块焦距分别为 45cm 和 7cm 的柱面镜使泵浦光形成焦线, 泵浦长度为 8mm、宽度为 0.3mm 的染料池, 池中为流动的若丹明 6G 乙醇溶液。

用功率计测量泵浦光在不同发散角时染料激光器的输入输出特性, 结果如图 5 所示。不难看到它与几何光学分析的结果很一致。

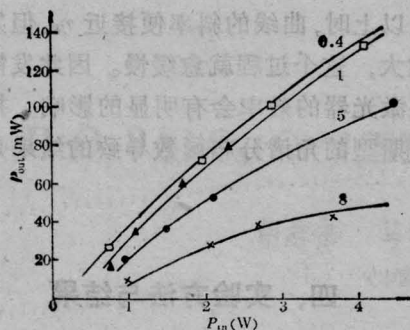


图5 不同发散角 $\theta_0$ (曲线上标出其毫弧度数)情况下泵浦输入功率与染料激光器输出功率的关系

输出功率5W左右的铜蒸气激光器,在稳定腔、 $M=10$ 望远镜式非稳腔和注入锁定非稳腔的条件下,发散角分别为8mrad、1.0mrad和0.5mrad。当泵浦功率比染料激光器振荡阈值高一个多量级时,相应的输出功率比大致为1:2.4:2.6。显然,从稳定腔改为非稳腔,染料激光器效率有不只一倍的提高;而非稳腔改为注入锁定,发散角虽然下降了一半,但效率增加不到10%。

为了便于从不同角度表达这一结果,我们将实验曲线改画成以发散角为变量的函数图像,如图6所示。

在本实验中,正象上节分析的那样,对于发散角 $\theta_0$ 较小的情况, $\eta_1 \approx 1$ ,而对于发散角较大时, $\eta_1$ 的影响就不能忽略,例如在用稳定腔作振荡器时, $\eta_1 = 0.9$ 。考虑到这一点,实验曲线(图5)就更接近于理论的分析结果。

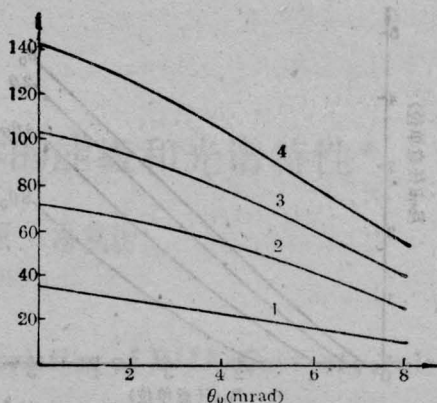


图6 从图5导出的等输入功率情况下(功率数在曲线上标出,单位W)染料激光输出功率与泵浦光束发散角的关系

## 五、讨 论

本文没有考虑染料激光器中的超辐射或所谓 ASE 效应。强激励下的染料具有很高的增益,超辐射严重。泵浦光方向性好,染料的激活面积小,会减小超辐射,但是单程增益变大,会加大超辐射,这两种效果互相克制,因而泵浦光的方向性与染料激光器的超辐射的关系会比较复杂,但可以看出,这只是影响染料激光器效率与泵浦光方向性关系的次要因素。

## 参 考 文 献

- 1 Bernhardt A F et al. *Appl. Phys.*, 1981; B26: 141

## He-He 激光治疗疱疹性唇炎

疱疹性唇炎是由疱疹性病毒所致。发病时局部先有灼热、瘙痒及紧张感,数小时后出现红斑,继而形成针头大小簇集成群的丘疹或水疱。水疱内含透明浆液,破裂后露出糜烂面,受外界刺激敏感而痛苦。最近我们采用上海产 HN2SQ-2 型激光器局部照射治疗,光斑尺寸与病灶面积近似相等,激光器激

励电流 15 mA,每次照射 10 分钟,每日一次,以破溃处结痂、愈合为治愈。共收治 10 例,经 4 次照射治愈 6 例,5 次治愈 3 例,6 次治愈 1 例。

(中国人民解放军 205 医院 方起鹏  
唐献林 白富章 王丽娜)