

## 铜蒸气激光器振荡-放大系统的实验研究(二)

梁培辉 任虹 沈琪敏 王志英

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 以非稳腔为振荡器谐振腔,比较了振荡器、行波放大和注入振荡放大几种方式运转的铜蒸气激光器输出光束的功率和方向性,实验结果表明注入振荡放大是最佳的结构,其效率比振荡器高30%,方向性提高的倍数(4.5倍)与几何光学的预计大致相符。

**Experimental investigation on the oscillator-amplifier system of copper vapor lasers (2)***Liang Peihui, Ren Hong, Shen Qimin, Wang Zhiying*

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

**Abstract:** With unstable resonator as oscillator, we have made an experimental comparison of the laser beam power and divergency between the oscillator, travelling wave amplifier and injection oscillator-amplifier of copper vapor lasers. It shows that the latter has advantages in efficiency and optical quality. The efficiency is 30% higher than that of the oscillator, the divergency is improved by a factor of 4.5, which is essentially in agreement with geometric optics prediction.

## 一、引言

为了提高铜蒸气激光器的输出功率并改善光束质量,振荡-放大是一个较理想的工作系统<sup>[1]</sup>。铜蒸气激光介质的增益非常高,大口径的激光振荡器由于存在超辐射和多横模振荡,光束的发散角比衍射极限约高两个数量级。采用非稳腔作谐振腔,可以压缩发散

角,但光束的方向性仍不理想。

近年来,注入锁定放大技术引起了普遍的关注<sup>[2,3]</sup>,这种工作方式不但可以控制大振荡器的纵模,也能控制大振荡器的横模。但是注入方式即耦合的方法总要给振荡放大器引进损耗,故它的输出效率和输出光束的方向性,有必要与振荡器、行波放大进行系统的实验研究。

收稿日期:1986年5月6日。

## 二、实验条件

振荡器与放大器均使用内径  $\phi 26 \text{ mm}$ 、长  $870 \text{ mm}$  的自加热式的纯铜金属蒸气激光器。在作振荡放大系统时，电源同步使放大器获得最大输出<sup>[1]</sup>。

本实验中振荡器采用非稳腔： $R_1 = -500 \text{ mm}$ ， $R_2 = 5000 \text{ mm}$ ， $M = 10$  的望远镜式谐振腔。与光轴成  $45^\circ$  的输出耦合板的中心孔  $\phi 6 \text{ mm}$ 。

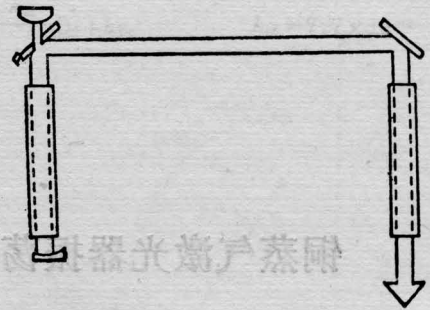
为了准确测量光束发散角，我们采用“穿孔”的方法，将光束经焦距为  $f = 1 \text{ m}$  的透镜聚焦，在焦点位置放上半径  $d_i$  不同的光阑，依次测量通过  $d_i$  的输出功率  $p_i$ ，再与无光阑时的总功率  $p_t$  相比，得出对应发散角  $\theta_i = d_i/f$  下的百分比  $p_i/p_t$ 。这样得出的  $p_i/p_t \sim \theta$  曲线便能准确地描述光束的方向性。这个方法对测量重复率脉冲激光器的光束特性具有直观、简单和准确的优点。因为一般使用测量光束在焦平面上的功率分布的方法，由于测量仪器的动态范围和测量阈值的限制，光束经衰减后由于背景的大量减少，测出的发散角与滤光片的衰减量有关，误差较大。

使用的功率计为数字式激光功率计 SD2490。

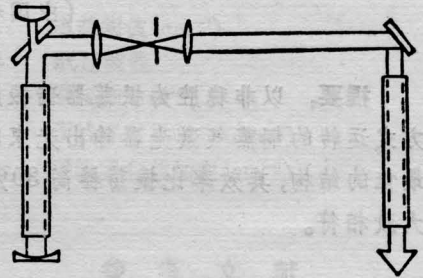
## 三、非稳腔振荡器输出的方向性

输入  $2.5 \text{ kW}$ ，激光器输出  $3.6 \text{ W}$ ，其光束的方向性如图 2。

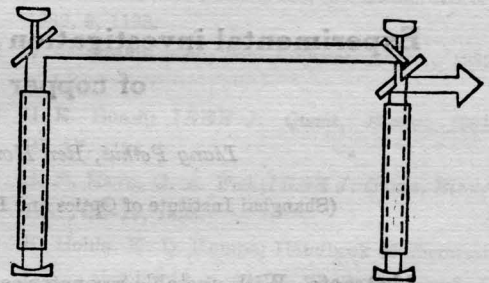
铜激光器的特点是增益高，被放大的自发辐射(ASE)成分大。我们曾测量过，平凹型稳定谐振腔输出光束的发散角约  $8 \text{ mrad}$ 。从图 2 可以看出，采用了非稳腔，光束的方向性还不够理想。80% 的功率集中在  $1.8 \text{ mrad}$  以内，但以后就有“饱和”的趋势，即其余的 20% 的功率分散在较大的角度范围内，这说明 ASE 依然存在，振荡的横模数还甚



(a) 简单行波放大



(b) 经小孔滤波后放大



(c) 注入振荡放大

图 1 实验光路图

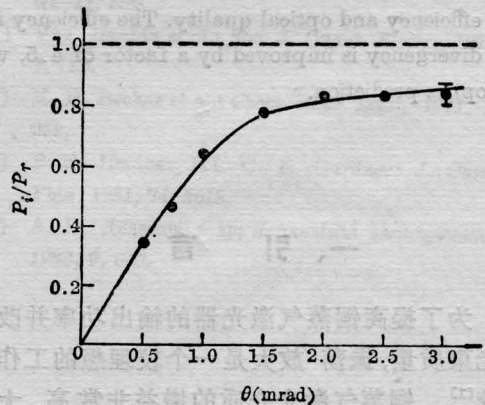


图 2 非稳腔振荡器输出激光的方向性

多。正是这个原因，光束的发散角比衍射极限 ( $0.025 \text{ mrad}$ ) 大得多。

#### 四、简单行波放大

铜蒸气激光振荡器产生 510.6 nm 和 578.2 nm 两种波长的激光,后者对泵浦若丹明 6G 染料可调谐激光器是不利的,因此本实验只放大绿光,为此,将振荡器的输出光束用棱镜分光后再注入放大器。两器件之间的距离  $l=24$  m。

放大器的净输出功率高于作成振荡器的输出,只要两器件的延时恰当<sup>[1]</sup>。放大器的输出方向性见图 3(a)。为与下述有小孔空间滤波的情况相区别,我们称之为简单行波放大。

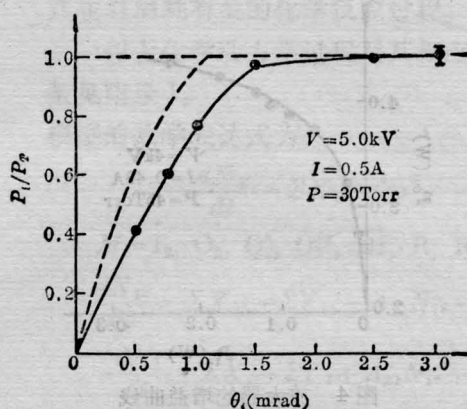
由图 3(a)看出,简单行波放大后的方向性优于振荡器(图 2)。道理是这样的,两器件的孔径均为  $\phi 26$  mm,而相距 24 m,因而可以粗略地说,发散角  $\theta > \phi/l \approx 1$  mrad 的光已被滤去,即放大器的注入光束的光束质量经过空间滤波而有所改善,放大的结果比原振荡器的方向性要好些。

#### 五、放大器的增益

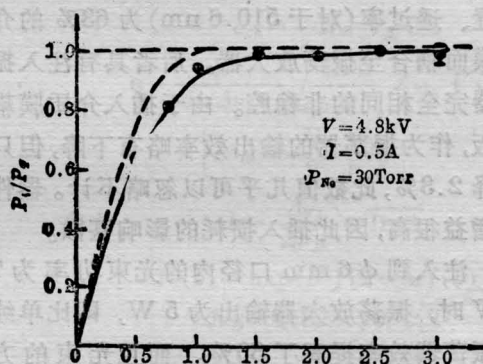
改变注入到放大器的信号的大小,并测量放大后的净输出,可以得到如图 4 的曲线。如此高的增益,是器件方向性不好、ASE 大的原因,但也是采用注入锁定放大的一个有利条件。

#### 六、经小孔空间滤波器的行波放大

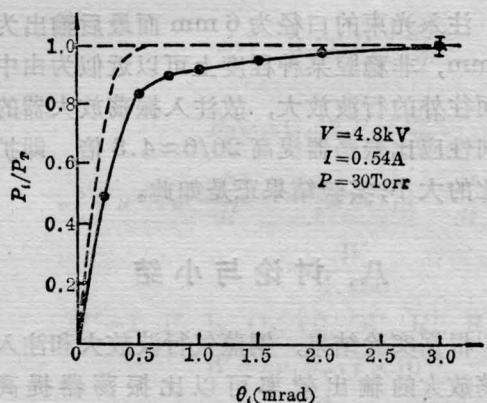
将振荡器的输出光束先经过 1:1 的光学望远镜系统,透镜焦距 1 m,在焦点处放置一个  $\phi 1$  mm 的小孔,见图 1(b)。放大后光束的方向性见图 3(b)。试与图 3(a)的实验曲线相比,其方向性更好些。因为小孔滤波要比空间的自然滤波更加严格地为 1 mrad。



(a) 简单放大



(b) 经小孔空间滤波后的简单放大



(c) 注入振荡放大

图 3 放大后输出光束的方向性(实线为实验结果,虚线为几何光学近似)

#### 七、注入振荡放大

在脉冲操作方式下,我们采用注入振荡放大的名称而不是注入锁定放大。具体的

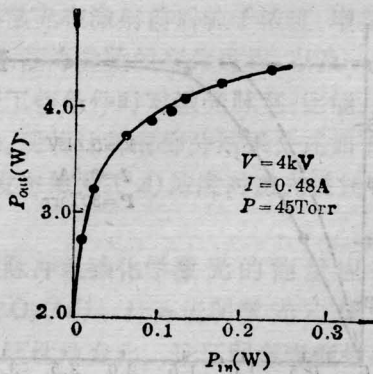


图4 放大器的增益曲线

光路排布如图1(c)。注入光束经过一块 $45^\circ$ 放置、透过率(对于 $510.6\text{ nm}$ )为63%的介质膜而耦合至振荡放大器。后者具有注入振荡器完全相同的非稳腔。由于插入介质膜耦合板,作为振荡器的输出效率略有下降,但只下降2.3%,此数值几乎可以忽略不计。器件的增益很高,因此插入损耗的影响甚微。

注入到 $\phi 6\text{ mm}$ 口径内的光束功率为 $7\text{ mW}$ 时,振荡放大器输出为 $5\text{ W}$ ,即比单纯的振荡器效率提高了30%。而且光束的方向性大大提高。

注入光束的口径为 $6\text{ mm}$ 而最后输出为 $26\text{ mm}$ ,非稳腔某种程度上可以近似为由中心而往外的行波放大,故注入振荡放大器的方向性应比振荡器提高 $26/6 \approx 4.3$ 倍,即扩孔比的大小,实验结果正是如此。

## 八、讨论与小结

根据实验结果,铜蒸气行波放大和注入振荡放大的输出效率可以比振荡器提高15%和30%。由图3看到,如果以总输出的80%为标准定义光束的发散角,则本实验的

结果表明,振荡器、简单放大、经小孔滤波( $1\text{ mrad}$ )和注入振荡放大的发散角依次为 $1.8\text{ mrad}$ 、 $1.1\text{ mrad}$ 、 $0.75\text{ mrad}$ 和 $0.4\text{ mrad}$ 。

毫无疑问,在图2(b)所示的安排中,如果小孔改得小些,即更大地限制源光束的发散角,放大后的光束的方向性能提高,但是,其结果不会比注入振荡放大好。例如,如果在望远镜系统中放一个只有 $\phi 0.4\text{ mm}$ 的小孔,以便达到注入振荡放大器的方向性,此时注入的功率便要下降到 $1/6$ ,最后的输出效率就更不如注入振荡放大器。

在图3的(a)、(b)、(c)三种情况下,我们都以虚数绘出简单几何光学近似下的方向性曲线。而所有的结果都表明放大器和注入振荡放大器的方向性没有达到几何光学预期的效果。我们认为,原因还是铜蒸气激光介质的增益太大,器件的ASE虽然已被抑制,但仍然存在。光路上的散射,特别是激光管两端窗口的沾污物的散射,造成方向性的下降也是一个不可忽视的原因。

结论:对于高增益的铜蒸气激光,采用注入振荡放大器结构是合理的,它可以使器件有更高的效率和更好的方向性,后者的提高倍数基本上与扩孔比一致。但要获得衍射极限的输出光束方向性,必须考虑模式间的耦合,要认真选择系统中各元件的光学参数。有关结果将另文发表。

## 参 考 文 献

- [1] 梁培辉等;《中国激光》,1987,14, No. 1, 45.
- [2] I.J. Bigio, M. Slatkine; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983, QE-19, 1426.
- [3] C. J. Buczek et al.; *Proc. IEEE*, 1973, 61, 1411.