

铜蒸气激光光束的研究

尹宪华 陶永祥 梁宝根 崔健力 陈莉菲

(中国科学院上海光机所)

Study on CVL beams

Yin Xianhua, Tao Yongxiang, Liang Baogen, Cui Jianli, Chen Lifen

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

Abstract: It was found that the annular structure of the stimulated emission is mainly due to nonuniform decay of the lower active level or the ground state "thermal dumping" resulting from excessive heat in axial region of the discharge tube.

一、引言

激光的光束截面呈现一圆环是金属蒸气激光器的主要特征之一,在较大口径放电情况下更为明显。文献[1~4]提到了光环现象与激光下能级弛豫有关,但进一步的讨论还很少。本文报道了在不同放电条件下,输出光束截面几何形状的变化规律。并作了定性分析,认为光环现象与沿放电管截面亚稳态粒子衰减不均匀和基态“热倒空”有关。

二、实验装置

实验装置如图1所示。放电管直径、输入功率和重复频率在一定范围内可调。谐振腔反射镜镀510.6nm全反介质膜,输出耦合镜为未镀膜的平板玻璃。用光学高温计监测陶瓷放电管管壁温度(T_w),测量时瞬时停止放电,以避免光辐射跃迁所带来的干扰,并根据陶瓷的黑度系数对测量结果进行修正。用光栅单色仪监测荧光谱线相对强度在放电管内的径向分布。出射光经分光板反射后入狭缝,狭缝可沿光束截面径向移动。

通常通过监测 T_w 来估计放电管内的温度状况,并确定某一范围内的 T_w (1450~1600°C)为最佳管壁温度^[3,5],在此范围内激光输出功率随输入功率的增加而增加。然而,在实验中我们发现激光管最佳工作状况并不仅由最佳管壁温度决定。因为对应同一个最佳管壁温度,激光管工作状况可大不一样,这是由于对应同一管壁温度 T_w ,管内气体温度 T_g ,

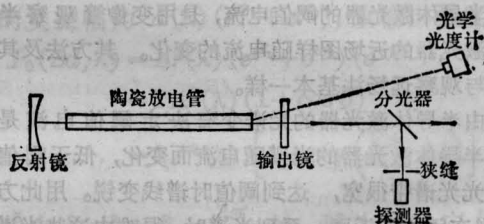


图1 实验装置

可能有上百度之差,致使黄、绿光之比(η)不同。为了直观地估计管内温度状况,除了参考 T_w ,我们把 $\eta=3/7$ 对应的 T_g 定义为典型温度。若输出光的 η 小于此值,可断定管内温度过低;若远大于此值,如 $\eta=5/5$,则说明管内气体温度过高。若介于两值之间,可认为管内气温状况还属正常。

三、实验结果

(1) 对直径为28mm的放电管,固定输入功率为3500W,在20~200Torr范围内改变充气压 P_{N_2} (不流动),后腔反射镜曲率半径分别为3、5、7m,锐化电容分别为1、1.5、2nf时,其光环形状几乎不变。图2(a)给出其光强分布。应指出当激光功率很强时,肉眼不能辨别出光环,但通过衰减测其光强分布还能发现光环现象。

(2) 在典型工作温度附近,将不同几何尺寸的放电管的输出光束作比较,发现光束截面形状随管径变化较大,如图2(b)所示。管径增大,光环现象更

表 1

直径 D (mm)	管长 l (mm)	输入功率 P_{in}	充气压 P_{Ne} (Torr)	黄、绿光之比 η	管壁温度 T_w ($^{\circ}C$)
15	400	1500 W	40	3.4/6.6	1460
22	400	1500 W	40	3.2/6.8	1445
28	900	3000 W	30	3.2/6.8	1420
40	900	4000 W	30	3/7	1410

明显。实验中观察到激光先在管壁附近形成，然后逐渐向管心移动，最后形成实心光斑。不同管子的工作参数见表 1。

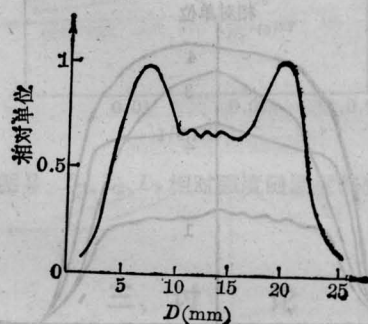
(3) 当放电管内温度高于典型温度，但管壁温度还属最佳温度范围之内，小口径管子输出光束的形状随工作温度变化比大口径管子灵敏。对小口径管子 ($D=22$ mm, $P_{in}=2000$ W, $T_w=1460^{\circ}C$, $\eta=4/6$)，15 分钟内把输入功率增至 2500 W 再降至 1500 W，观察到光束截面由光斑-光环-光斑过程，而且输出光的黄、绿比 η 也很大。对 $D=40$ mm 的放电管也作了相应的试验，但光束变化不明显，仅输出功率和黄色成份有所增加。

(4) 固定输入功率，改变工作频率，小口径管子 ($D=15$ mm, $P_{in}=1500$ W, $T_w=1420^{\circ}C$, $\eta=3.8/6.2$) 的输出光束形状变化不明显，随着频率的增高 ($f=4 \rightarrow 16$ kHz)，输出功率由 0.9 W 增至 2 W。大口径管子 ($D=40$ mm, $P_{in}=4500$ W, $T_w=1450^{\circ}C$, $\eta=3.4/6.6$)，变化比较明显，当 $f \leq 4$ kHz 时，输出光束截面为实心圆斑，而当 $f \geq 7$ kHz 时，光环现象明显，当 $f=5 \sim 7$ kHz 时输出功率最高，为 20 W。

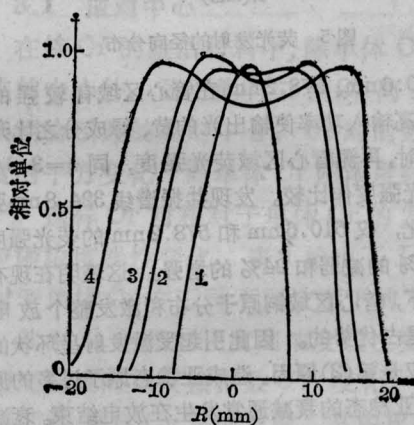
(5) 用光电二极管沿光环带径向不同位置测得激光脉宽，发现靠管壁区域的脉宽比靠管心区域的脉宽大 6~7 ns，如图 3 所示。它反映了管壁区域受激发射持续时间比管心附近长。图 4(a)、(b) 分别对应 $D=28$ mm, $T_w=1545^{\circ}C$ 和 $T_w=1410^{\circ}C$ 时出射的激光光环和光斑。

四、讨 论

引起放电管心附近受激发射减弱的原因有两个：(1) 在该区域激光上能级泵浦速率小，即电流密度低或由于气体过热引起的铜原子密度降低；(2) 该区域在整个放电和余辉过程中相对于管壁附近有较高的铜原子亚稳态密度，对激光起着限制或终止作用。我们沿放电管 ($\eta=3.6/6.4$) 径向不同位置 (间隔 1~2 mm) 测得一些 Ne、Cu 特征谱线的荧光强度。如图 5 所示，铜原子共振谱线 324.8 nm 和激光



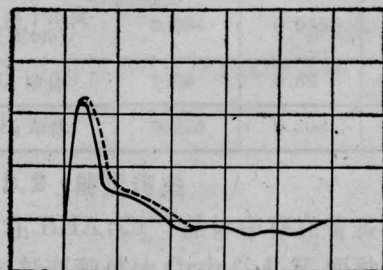
(a)



(b)

1— $D=15$ mm; 2— $D=22$ mm;
3— $D=28$ mm; 4— $D=40$ mm

图 2 光强沿光束截面分布



时标: 50ns/div

图 3 激光脉冲示波图

... 靠管壁; — 靠管轴

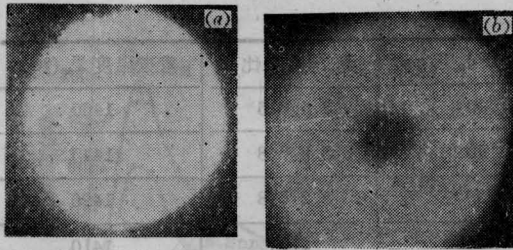


图4 铜蒸气激光束结构

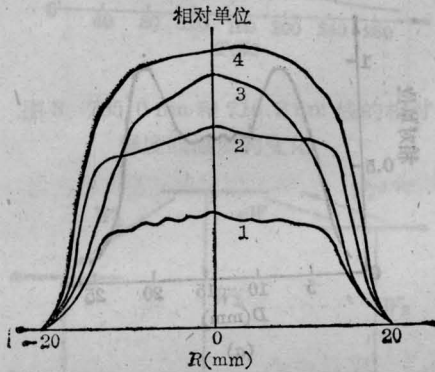


图5 荧光发射的径向分布

谱线 510.6 nm、578.2 nm 在管心区域有较强的分布。提高输入功率使输出光的黄、绿成分之比升至 $\eta=5/5$ 时,再测管心区域荧光强度,同 $\eta=3.6/6.4$ 时的荧光强度作比较。发现共振谱线 324.8 nm 强度并没变化,仅 510.6 nm 和 578.2 nm 的荧光强度分别有 32% 的减弱和 24% 的增强。这表明在现有工作情况下,管心区域铜原子分布和激发整个放电管截面内是占优势的。因此引起受激发射呈环状的主要原因应是第(2)原因。造成亚稳态原子过多的原因是:(A)亚稳态的衰减通常发生在放电结束。衰减主要通过与慢电子、重粒子和管壁碰撞完成的。在管心区域,由于温度较高,气体密度小,同重粒子碰撞机会少。而亚稳态原子同慢电子碰撞是与余辉时期的冷电子密度 n_c 成正比的^[3,5],在管心区域电流密度大,

亚稳态原子间慢电子碰撞占优势。尤其在大口径情况,中心区域由于扩散时间较长,亚稳态消失主要靠同慢电子碰撞;而在管壁附近,扩散时间短,同管壁、重粒子碰撞几率大。由于亚稳态消失过程在管壁比在管心快,则输出光斑沿管径的分布将不均匀。(B)在放电脉冲初始时刻激光下能级仍满足 Boltzman 分布^[4]。如果管内气体温度 $T_g=2100$ K,则低激光能级的最大粒子数比基态粒子数小 2~3 个数量级。而在范围很大的不同放电条件下,从基态被抽运到激光上能级的粒子数还不到 1%。这样上、下激光能级粒子数密度几乎在同一个数量级,约 $5 \times 10^{12} \sim 1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ 。因此激光上、下能级的统计权重对反转起了重要作用。在最佳温度工作时,亚稳态初始分布还不足影响激光;但当过高功率输入,引起气体过热,使亚稳态粒子密度上升而影响了激光输出,这被称为“热倒空”。通过增加输入功率,使放电管内温度高至 510.6 nm 荧光几乎消失,然后一束 510.6 nm 激光通过此放电管,结果入射光被强烈吸收。如果切断此放电管电源,管内 Ne、Cu 混合物迅速冷却,约在 1~2 分钟后,入射光又增至原来的强度。

参 考 文 献

- 1 Isaev A A. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1983; **13**(6): 758
- 2 Bokhan P A. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1980; **10**(6): 724
- 3 Isaev A A. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1986; **16**(11): 1512
- 4 Litvinenko Ya A. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1983; **13**(6): 778
- 5 Kursh. *J. Appl. Phys.*, 1983; **54**(6): 29
- 6 Yao Zhixin *et al.* An additional criterion of efficient pulsed gas discharge lasers, CLEO'85 WM28 Baltimore, USA

(收稿日期:1987年2月26日)