

矩形放电管 He-Ne 激光器特性的研究*

钱梅珍 蔡颖** 刘鹏 凌一鸣

(南京工学院电子工程系)

提要: 本文介绍了采用矩形放电管 He-Ne 激光器特性的测试及其理论分析。

Property study of He-Ne lasers with flat discharge cross-section

Qian Meizhen, Cai Ying, Liu Peng, Ling Yiming

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing)

Abstract: In this paper measurements and theory of properties of He-Ne lasers with flat discharge cross-section are described.

一、引言

He-Ne 激光器是发展最早的气体激光器,目前仍被广泛应用。一般的 He-Ne 激光器,均采用圆截面放电管。对于这类结构的管子,要提高输出功率,必须增加放电管的长度,这给制造和使用均带来不便。我们试图采用扁平截面的放电管结构来提高 He-Ne 激光器的输出功率。实验证明,这类新型结构的激光器输出功率可以比通常同样放电长度的圆截面放电的 He-Ne 激光器约大 50% 左右,其光束横截面的光强分布也比较均匀,功率输出稳定性好,这些正是激光医疗等(尤其是激光光敏治癌)所需要的。

本文介绍了这类新型结构的 He-Ne 激光器及其特性的测试,并对测试结果作了初步的理论分析。

二、管子结构

设矩形放电管的截面尺寸为 $a \times b$, 放电管的长度为 l , 且满足 $l \gg a, b$, 可以认为,放电等离子体参量沿着 z 轴方向是均匀分布的。由理论分析可得出:带电粒子在横向的浓度分布满足如下的余弦规律^[1]:

$$n(x, y) = n_0 \cos \frac{\pi}{a} x \cdot \cos \frac{\pi}{b} y \quad (1)$$

式中 n_0 为 $x=0, y=0$ 处的带电粒子浓度。

由放电理论还可得出:矩形放电等离子体的电子温度可以与对应的圆截面放电等离子体的电子温度相等,其尺寸之间的对应关系为^[2]:

$$R = 0.765 \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (2)$$

收稿日期: 1987年2月9日。

* 本课题为国家自然科学基金资助项目。

** 华北光电技术研究所工作。

R 为等效半径。由(2)式可以看出,当 a 远大于 b 时,电子温度主要取决于短边长度 b , 适当选取短边长度可以保证一定的电子温度。

在以上理论的基础上我们设计的矩形放电管 He-Ne 激光器的结构如下: 矩形放电截面为 $3 \times 18 \text{ mm}^2$, 放电管长度为 1 m , 内腔式, 腔长为 1.1 m , 采用平-凹谐振腔, 曲率半径为 3 m , 阴极、阳极均采用旁热式, 其结构如图 1 所示。

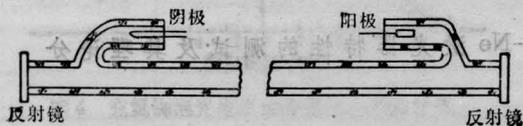


图 1 内腔式扁平放电截面的 He-Ne 激光器

三、参量测试及理论分析

3.1 激光输出功率与总气压的关系

我们是在排气台上进行测量的, 采用 GG-1 激光功率计测量, 得出如图 2 的曲线。实验得出: 在其它参数不变的情况下, 总气压为 0.8 Torr 时, 输出功率最大。

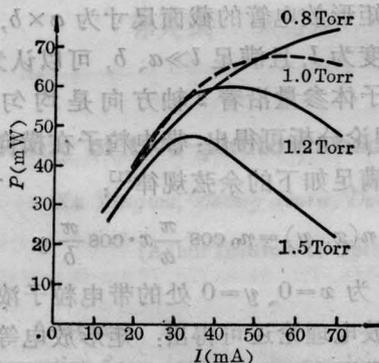


图 2 当气压比 He:Ne=7.5:1 时, 不同气压、不同放电电流时的激光输出功率

扁平放电管 He-Ne 激光器的工作原理是与普通圆截面的 He-Ne 激光器一致的。总气压过高和过低都不利于 Ne 原子的 $3S_2$ 状态的形成, 因此存在一个最佳总气压。由

公式(2)我们可以得出与扁平放电管内电子温度相同的等效半径 R 为 2.8 mm , 这样, 由经验公式 $pd=3.6 \sim 4 \text{ Torr}$, 可知最佳总气压在 0.8 Torr 左右, 与我们的实验值相近。

3.2 输出功率与 He、Ne 气压比的关系

实验测得的曲线如图 3 所示。由图可以看出, 在其它参量不变的情况下, He 与 Ne 的气压比为 $7.5:1$ 时输出功率最大。

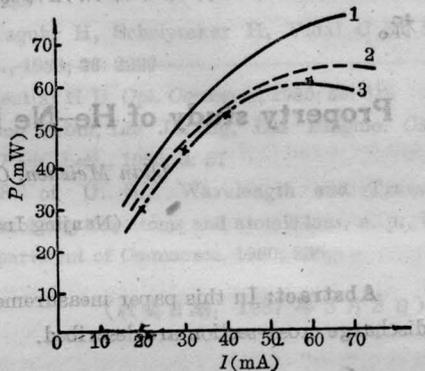


图 3 当总气压为 0.8 Torr 时, 不同气体配比、不同放电电流时的激光输出功率, 曲线 1、2、3 分别对应于气体配比为 $7.5:1$ 、 $4.7:1$ 、 $10:1$

介质中反转粒子数的建立并不因放电管形状的改变而变化, 因此 He 与 Ne 的气压比也有一个最佳值, 并且此值与普通圆截面放电的 He-Ne 激光器一样, 为 $7:1$ 左右。

3.3 激光介质的增益系数

采用放大法测试了介质的增益系数, 测试原理见图 4。图中: P_0 表示入射到激光放大管中的激光功率, P_1 表示激光通过吸收介质后的出射功率, P_2 表示激光通过增益介质后的出射功率。放大管的结构如下: 矩形截面面积 $3.16 \times 18 \text{ mm}^2$, 放电管长度为 120 cm , 放大管全长为 130 cm 。

由公式:

$$G = \frac{1}{l} \ln P_2/P_1 \quad (3)$$



图 4 增益系数测试示意图

可以得出增益系数 G 。 G 的量测是在排气台上进行的。我们量测了 G 与泵浦电流的关系,如图 5 所示。还量测了 G 与入射激光强度的关系,入射光的光强变化可由调节其泵浦电流来达到,所得的曲线如图 6 所示。

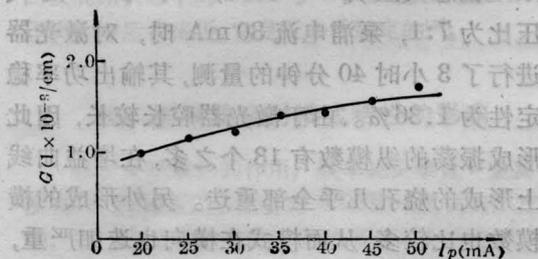
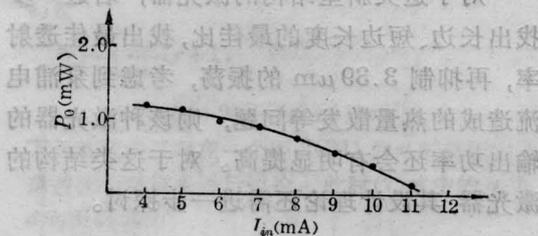
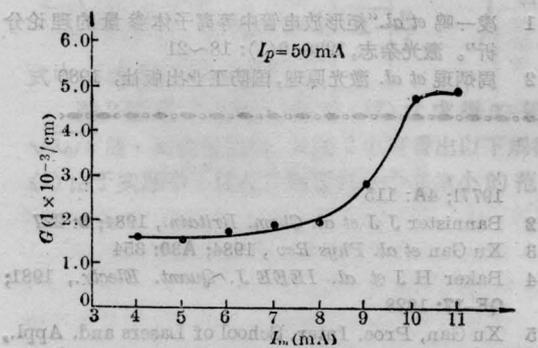


图 5



(a)



(b)

图 6

- (a) 入射光的功率与其泵浦电流的关系;
(b) 待测管增益系数与入射激光管的泵浦电流关系

普通圆截面放电管 He-Ne 激光器,当输出波长为 632.8 nm,在最佳放电条件下,介质增益系数 G 由如下经验公式估算:

$$G = 3 \times 10^{-4} / d \quad (d \text{ 单位为 cm}) \quad (4)$$

将等效半径 2.3 mm 代入(4)式,则 $G = 6.5 \times 10^{-4} / \text{cm}$ 。测得本实验管的增益系数:当泵浦电流为 20 mA 时, $G = 9.5 \times 10^{-4} / \text{cm}$,当泵浦电流为 35 mA 时, $G = 1.38 \times 10^{-3} / \text{cm}$ 。可见扁平放电管 He-Ne 激光器的增益系数比较大,这是因为这类新型激光器增益介质横向尺寸大,这样可以利用的反转粒子数就多。又由于 y 方向的尺寸比 x 方向尺寸小得多,这样就保证了激光下能级的粒子弛豫迅速,从而使粒子数反转量相对增加。若工作在最佳放电情况下,增益系数将更大。图 5 曲线表示了增益系数随泵浦电流增加而增加。由于考虑到泵浦电流太大,管子承受不了热负荷,因此试验未继续往下做。若解决散热问题,可以设想是能找到最佳放电电流的。

我们知道,当入射光逐渐增强,并增强到可以与饱和光强 I_s 比拟时,激光介质的增益系数会减小,这就是增益饱和。饱和光强 I_s 可表示为^[2]:

$$I_s = \frac{4\pi^2 h \nu_0^3 \Delta \nu_H}{C^2} \frac{\tau}{\tau_2} \quad (5)$$

当 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$,气压 p 为 1 Torr,由(5)式可计算得: $I_s = 0.3 \text{ W/cm}^2$ 。当入射激光管的光泵激励电流为 4~8 mA 时,足以使增益产生饱和。图 6(a)、(b)明显反映了这一饱和效应。

3.4 激光光束横向光强分布及光斑形状

激光光束横向光强分布如图 7 所示。光斑形状为扁平形,如图 8 照片所示。

扁平放电管 He-Ne 激光器中由于放电管的横截面比较大,因此光波的衍射效应比普通圆截面放电的衍射效应要小得多,这样在腔内形成的激光模式比较多,使光强沿横

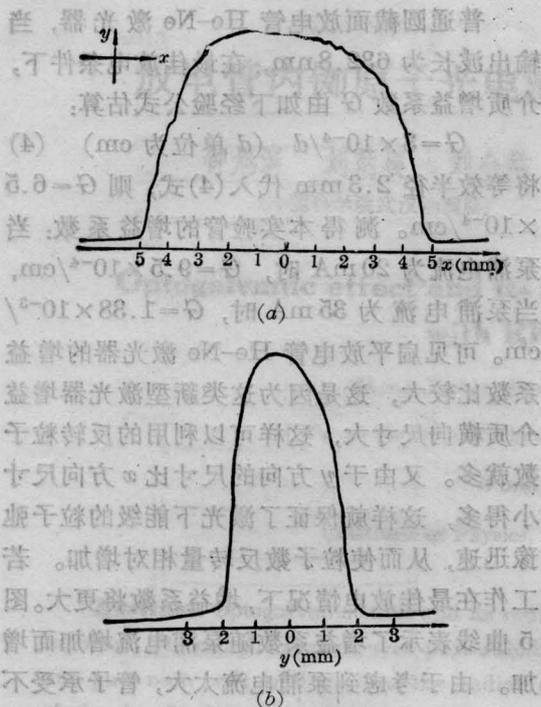


图7 激光光束的横向光强分布



图8 扁平激光器的输出光斑

向的分布比较均匀(见图7),且由于 x 方向线度大, x 方向的光强分布更加均匀。也正是由于衍射损耗,虽然放电截面为矩形,但形成的稳定光斑棱角不明显。

(上接第399页)

方式,可得到脉宽 $1\text{ns}\sim 2\mu\text{s}$,峰值功率 $1\sim 10\text{MW}$ 的 TEM_{00} 模、近傅里叶变换线宽极限(单纵模)的单脉冲输出。该系统能长时间稳定工作,提供了一个工作在 $1.3\mu\text{m}$ 波长,功率为兆瓦级的相干光源。

参 考 文 献

1 Witte K. *et al.* Laser Inter Relat Plasma Phenom.,

3.5 发散角的量测

利用测出不同位置处的光斑尺寸,从而计算出这段距离内的平均发散角。测出长边方向、短边方向的发散角分别为: $4.504\times 10^{-3}\text{rad}$ 和 $1.282\times 10^{-3}\text{rad}$ 。测试条件为:泵浦电流 I 为 20mA ,He与Ne的气压比为 $7:1$,总气压为 0.9Torr 。从测试值可以看出,长边方向光束发散角比短边方向的发散角大,这是因为长边方向线度大,从而使衍射损耗小的缘故。

3.6 激光输出功率的稳定性

在总气压为 0.9Torr ,He与Ne的气压比为 $7:1$,泵浦电流 30mA 时,对激光器进行了3小时40分钟的量测,其输出功率稳定性为 1.36% 。由于激光器腔长较长,因此形成振荡的纵模数有13个之多,在增益曲线上形成的烧孔几乎全部重迭。另外形成的横模数也比较多,从而模式在横向也迭加严重,因此激光器输出功率的稳定性较好。

对于这类新型结构的激光器,若进一步找出长边、短边长度的最佳比,找出最佳透射率,再抑制 $3.39\mu\text{m}$ 的振荡,考虑到泵浦电流造成的热量散发等问题,则该种激光器的输出功率还会有明显提高。对于这类结构的激光器,其设计理论还需进一步探讨。

参 考 文 献

1 凌一鸣 *et al.*“矩形放电管中等离子体参量的理论分析”。激光杂志,1988;9(1):18~21
 2 周炳琨 *et al.* 激光原理,国防工业出版社,1980
 1977;4A:115
 2 Bannister J J *et al.* Chem. Britain., 1984; 3: 227
 3 Xu Gan *et al.* Phys Rev., 1984; A30: 354
 4 Baker H J *et al.* IEEE J. Quant. Electr., 1981; QE-17: 1828
 5 Xu Gan, Proc. Inter. School of Lasers and Appl., Beijing, 1987