

输出功率稳定的封离型 CO₂ 激光器

丁家强 赵建荣 方慧英

(中国科学院力学研究所)

一、前言

随着激光研究工作的进展,需要对器件的增益、功率和镜片的反射、透射系数进行较准确的测定,而输出功率稳定的激光器是进行这些工作不可缺少的条件,这一类型的激光器在国民经济中也有一定的用途。

用九五硬料玻璃制的激光器,我们得到了一分钟内功率漂移约为 $\pm 1\%$,半小时内功率漂移为 $\pm 3\%$ 。石英玻璃制激光器一分钟内功率漂移小于 $\pm 0.5\%$,半小时内功率漂移小于 $\pm 1\%$ 。后者已间断工作两年零九个月,效果良好。

二、基模(TEM₀₀)的获得

稳定的功率输出关键在于需要一个稳定的基模输出。抑制高次模的办法很多,考虑到我们的要求和条件,我们选取了以较小的管径使高次模的衍射损失大于它的增益,从而抑制高次模的方法。这对功率要求不高的器件是方便可靠的。

封离型 CO₂ 激光器增益系数的经验公式是^[1]:

$$g_0 = (0.012 \sim 0.0025d) \text{厘米}^{-1}$$

$$0.4 \text{厘米} \leq d \leq 3.4 \text{厘米}$$

其中 d 是以厘米为单位的放电管内直径的数值。

我们取 $d=0.6$ 厘米,则 $g_0=0.0105$ 厘

米⁻¹。取放电区长度 $L_A=70$ 厘米,得到单程增益 $g=74\%$ 。我们的半透镜为未镀膜的平面平行锗片,透射率为 40%;锗的吸收系数为 0.03 厘米⁻¹,我们的锗片厚度为 3.5 毫米,因此,锗的吸收损耗为 1%;全反镜的反射率为 98%,损耗为 2%;因此单程损失为 43%。最后得到单程剩余增益为 31%。

如果 TEM₁₀ 模的衍射损失大于 31%,就可抑制高次模的振荡。根据 Li^[2] 的单程衍射损失~菲涅耳系数图,对半共焦腔得到在菲涅耳数 $N=0.9$ 时,TEM₁₀ 模的单程衍射损失 $l_{10}=35\%$,而 TEM₀₀ 模的衍射损失 $l_{00}=7\%$, $l_{10}/l_{00}=5$,满足了条件。菲涅耳数表达式为

$$N = \frac{d^2}{4L_c\lambda}$$

其中 d 为光阑直径(放电管内直径), λ 表示输出波长。得到腔长 L_c 为:

$$L_c = \frac{d^2}{4N\lambda} = \frac{(0.6)^2}{4 \times 0.9 \times 10.6 \times 10^{-4}} \\ \approx 100 \text{ (厘米)}$$

如果全反镜的曲率半径 $R > 2L_c$,可以得到较小的发散角,但 l_{10}/l_{00} 也将变小,较难得到稳定的 TEM₀₀ 模;如果 $R < 2L_c$,可得到更大的 l_{10}/l_{00} 值,容易获得 TEM₀₀ 模,但由于发散角也将变大,使用上受到了限制。对 $L_c=100$ 厘米的半共焦腔,发散角为 1.9 毫弧度^[1]。

收稿日期: 1978 年 7 月 15 日。

三、激光器寿命的考虑

我们知道封离型 CO₂ 激光器的寿命问题, 都归结为维持 CO₂ 在放电管中的浓度。人们采用各种办法^[4~9] 降低 CO₂ 离解速度并使离解产物 CO 和 O₂ 再生成 CO₂。我们用了几个简单易行的办法。

① 管子和电极需进行清洁处理, 并在封接电极时要防止氧化。

② 管子与电极的烧氢处理。管子抽空后加入 5 托氢气放电, 电流可在 30 毫安 (须大于使用时工作电流), 连续处理 8 小时, 可每隔 2 小时抽空换气。这样做可使管壁和电极吸附的空气放出而吸附氢气, 这些氢气将在管子工作时作为氢源补充管内氢气消耗^[4]。

③ 充入 0.2 托左右氢气^[4,5] 和 0.5 托左右氙气^[9]。

④ 管子的老化处理。充入工作气体放电 8 小时, 然后抽空重新充气, 这样可不至于由于管壁和电极的吸附而改变气体成分或降低气压。

⑤ 采用三层套和回气管结构^[8]。

采用以上措施, 石英管制激光器已间断工作两年零九个月, 玻璃管制激光器已间断工作一年半以上, 目前仍可正常使用。这些措施中, 除回气管的作用尚值得进一步探讨^[10] 之外, 其它措施对得到目前的寿命都是不可缺少的。为了得到更长的工作寿命, 在不化太大力气前提下, 还可做以下工作:

① 三层管体外套应在抽空状态下予以烘烤 (对玻璃管不宜烘烤), 因为外套在烧氢时是处理不到的。这样可去掉管壁吸附的空气, 而在烧氢和老化时吸附氢气和工作气体。

② 可以从工作气体中去掉氮气, 增加 CO₂ 的分压。这样只是导致输出功率的略微降低, 但由于不会生成对 CO₂ 激光器功率和

寿命极为有害的 N₂O 和 NO₂^[11] 而使功率的稳定和寿命的延长都得到好处。

③ 对真空密封技术要给予足够的重视, 防止在长期使用后密封胶的分解和漏气。

④ 对泵浦功率达数百瓦以上的石英制激光器, 在镍阴极不水冷并在外部加热绝缘的条件下, 阴极可自热到 250~300°C, 从而起到催化生成 CO₂ 的作用。

在进行处理时值得注意的是: 管子一经放电后, 不能长期 (如一小时) 置于真空状态, 否则, 全反镜将自行“镀膜”。这可能是由于电源用的是高压, 放电时镜片也有感应电压存在, 而全反镜的金膜又与外界有良好的绝缘 (对锗片而言, 电荷很容易放到空气中), 在真空状态下将吸引金属离子而在镜片上“镀膜”, 造成镜片失效。

四、稳定性测试结果

管子经老化处理后重新抽空即可充入工作气体封离排气台。由于使用时电源限制, 气压未到最佳状态, 一般充气压力为: H₂0.2 托; Xe0.5 托; CO₂2.5 托; N₂1.5 托; He12 托。放电电压 12 千伏, 工作电流 5~20 毫安, 输出功率 5~10 瓦。电压未加特殊稳定装置, 只是输入端接普通 220 伏稳压电源, 其稳定精度为 ±0.5%, 测量装置如图 1。



图 1 功率稳定性测量装置

表 1、2 的结果是已间断工作一年零七个月后测得的。镍阴极同轴而不水冷, 阳极是一根置于垂直支管内的钨针。表 3 的结果是已间断工作两年零九个月后测得的, 阴极与阳极均由同轴水冷的镍圆筒构成。这两支管子均由石英管制成。比较两者的结果, 显然后一种较好。其原因我们认为由于放电区与非放电区温差达几十度^[12], 而前者放电柱在

阳极端有一弯曲, 由于温度对折射系数的影响, 将使光线在此界面上经历一次折射, 致使谐振腔脱离初始准直状态, 产生与倾斜镜片等效的结果, 而得不到稳定的基模输出。放电电流愈大, 放电区温度也愈高, 折射也愈厉害。另外, 两个区域的温差达到平衡需要一定的时间, 因此, 开机后达到稳定的工作需要的时间亦长。但若把两个电极沿管轴异侧对称放置, 则入射到放电区的光与经折射后从放电区出来的光相互平行而有一小的位移,

表 1

电 流 (毫安)	水 流 量 2 升/分 功率 漂 移 (±%)		水 流 量 1 升/分 功率 漂 移 (±%)		水 流 量 3.5 升/分 功率 漂 移 (±%)	
	半 小 时	一 分 钟	半 小 时	一 分 钟	半 小 时	一 分 钟
	3	0.8	0.5			
5	0.6	0.2	2	0.4	5	0.6
7	2	0.3				
9	4	0.5				
10			7.6	0.5	10	0.6
11	1.4	0.3				
13	1.5	0.3				
15	1.2	0.5	7	0.7	5	0.5

石英管制激光器, 同轴镍阴极而不水冷, 阳极为置于垂直支管内的钨针, 冷却水直接接自来水阀门。

表 2

电 流 (毫安)	水 流 量 2 升/分 功率 漂 移 (±%)		水 流 量 1 升/分 功率 漂 移 (±%)	
	半 小 时	一 分 钟	半 小 时	一 分 钟
3	1	0.2	1.6	0.3
5	0.2	0.1		
7	0.6	0.2		
9	0.4	0.7		
11	0.5	0.4		
13	2	1		
15	3.4	1.5		

管子同表 I, 由水泵稳定冷却水

表 3

电 流 (毫安)	水 流 量 2 升/分 功率 漂 移 (±%)		水 流 量 1 升/分 功率 漂 移 (±%)		水 流 量 3 升/分 功率 漂 移 (±%)	
	半 小 时	一 分 钟	半 小 时	一 分 钟	半 小 时	一 分 钟
	5	1	0.4			
7	0.8	0.4				
10	0.7	0.2	1.2	0.8	0.8	0.5
13	0.8	0.3				
15	0.8	0.2				
17	0.8	0.5				
19	0.7	0.4				
22	0.9	0.3				
25	0.9	0.2				

石英管制激光器, 同轴镍电极水冷, 由水泵稳定冷却水

折射的影响可小些。与同轴电极相比, 虽然由于偏离了初始最佳准直状态而稳定性稍差, 但由于消除了电极溅射对镜片的污染及可在较短腔长下得到同样输出功率, 也不失为一个较好的放置电极的方式。

顺便提一下, 对玻璃制成的激光器, 应排除这种带支管的结构, 因为它将使玻璃管受热产生不均匀膨胀, 使准直状态产生严重畸变, 功率急剧下降, 甚至不出光。表 4 给出了同轴水冷镍电极, 玻璃管制激光器的结果, 这是间断工作一年半后测得的。

表 4

电 流 (毫安)	功 率 漂 移 (±%)	
	半 小 时	一 分 钟
7	2.7	0.3
10	3.3	1.6

玻璃管制激光器, 同轴镍电极水冷, 由水泵稳定冷却水, 流量为 2 升/分

实验中发现, 表 1、2 所用的管子, 在冷却水 2 升/分流量下, 在 9 毫安出现 TEM₀₀ 和 TEM_{01*} 的竞争, 9 毫安以上出现 TEM_{01*} 和

TEM₁₀ 的竞争, 因此, 高电流下稳定性较差。而对表 3 所用的管子, 在冷却水 2 升/分的流量下, 直到 25 毫安都是 TEM₀₀(未加更高电流)。在冷却水 1 升/分的流量下, 在 15 毫安就变成了 TEM₁₀。这些和我们上面的分析是一致的。从三个表中都可看出, 水流过大或过小, 都使稳定性变差。水流过小可能是冷却不够造成不稳定, 水流过大则可能是水流冲击产生的振动造成的不稳定。另外, 稳定水流比不稳定水流取得较好的结果。

五、结 束 语

内直径 6 毫米, 放电区 70 厘米, 腔长 100 厘米的半共焦腔, 用不镀膜平面平行锗片作耦合输出窗的内腔式 CO₂ 激光器, 经适当处理, 可得到 5~10 瓦的稳定基模输出, 间断工作寿命可达数年。

电极结构以同轴放置的筒状镍电极为佳, 而电极在管轴异侧对称放置也是较好的方式。为了得到更长的工作寿命, 工作气体可采用 CO₂+He+Xe+H₂ 而无需加入氮气。对泵浦功率数百瓦以上的器件, 镍阴极可不予水冷并加热绝缘。

我们的管子曾同美国 GTE Sylvania 公

司制造的 Model 950 CO₂ 激光器做过比较。该管标称短期振幅稳定性为 0.5%, 长期为 5%。在同样的控制冷却水温度和流量的条件下, 我们的石英管的稳定性略高于 Model 950, 另外发现 Model 950 并不能给出满意的基模输出。其原因可能是它的全外腔结构及异侧放置电极所致。

参 考 文 献

- [1] T. S. Fahlen; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 10, 2381.
- [2] T. Li; *Bell. Syst. Tech. J.*, 1965, **45**, No. 5, 917.
- [3] A. L. Bloom, *Gas Lasers*.
- [4] T. F. Deutch, F. A. Horrigan; *IEEE, J. Quant. Electr.*, 1968, **QE-4**, 972.
- [5] W. J. Witteman; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **11**, 337.
- [6] A. L. S. Smith, P. G. Browne *et al.*; *Appl. Phys.* 1974, **7**, 1652.
- [7] P. G. Browne, A. L. S. Smith *et al.*; *Appl. Phys.*, 1974, **7**, 2426.
- [8] W. J. Witteman; *IEEE, J. Quant. Electr.*, 1968, **QE-4**, 786.
- [9] P. O. Clerk, J. Y. Wade; *IEEE, J. Quant. Electr.*, 1968, **QE-4**, 263.
- [10] R. S. Reynolds; NASA-CR-86299.
- [11] P. Bretzinger; *IEEE, J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, 317.
- [12] P. A. Bakhan, Ye. S. Yegorova; *Laser and Unconventional Optics*, 1973, No. 43, 17.

JG-5 型激光测距仪研制成功

山东省激光研究所最近研制成 JG-5 型激光测距仪, 其测程为 500 米至 5000 米, 精度为 ± 2.5 米, 激光头重量仅 3 公斤, 可迅速、准确地观察、测定周围目标的距离, 可供部队测距之用。

仪器由激光头、电源及三角架组成。激光头包括瞄准、发射、接收三部分光学系统和放大器、电子计数器和数字显示部分, 还包括调整方位角、俯仰角的全部机械系统。

电源采用银锌直流电瓶, 便于野外作业。

三角架为支撑激光头用, 装有背带, 以便于携带。

山东省科委组织的鉴定会议认为, JG-5 型激光测距仪成功地采用了电光调 Q 技术, 具有性能稳定、体积小、重量轻、操作方便等特点, 在某些方面达到了目前同类仪器的国内先进水平。

(鲁广勤)