

## 结 论

当圆盘激光器表现出如下几个特点时，这种概念可认为是成功的：

1. 在圆盘中能贮存大量的能量；
2. 能取得足够的增益；
3. 能忽略热和其他光学畸变；
4. 圆盘激光器能够在高功率和高亮度下运转。

每立方厘米有 0.60~0.68 焦耳时，贮存的能量是足够的。将圆盘激光器用作非共振多程放大器或用作受激振荡器时，其增益是足够的。如上所述，这些使用方法在研究之中。至今，对圆盘的热畸变以及这些畸变对激光束的影响仅作了最基本的研究。观察不到通过被泵浦的圆盘的探测光束的横模图样

有什么变化。然而，在这方面有大量工作需要做。

为了完成圆盘概念的研究，目前正在做以下的工作：（1）建立马赫-陈德尔干涉仪以研究光学畸变；（2）装配一台 15 只圆盘（12.5 厘米的孔径）的激光器以提供足够的功率；以及（3）为 15 只圆盘的装置建造一台程长 90 米的设备。

在确定圆盘激光器能否在所要求的功率和  $10^{16}$  瓦/厘米<sup>2</sup>·球面度的亮度下产生强冲击波和高温等离子体之前，还需作更精确的测量。

### 参考资料(略)

取自 J. E. Swain *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 1969 (Sept.), 40, №10, 3973~3977

## 高 功 率 CO 激 光 器

这种高效率的激光器开辟了利用群集在 5 微米附近的大气窗的前景，以及利用比 CO<sub>2</sub> 激光波长的接收器更灵敏的接收器的前景。一些困难是存在的，但似乎能够克服。

直接激发 CO 系统，有可能产生波长为 5~6 微米的高功率高效率受激发射。但是，这种高功率的 CO 激光器工作时需要低温冷却，由于各振动带发生重迭，因而不能从单一波长上获得总能量。

直到最近，在波长 1.06~10.6 微米之间运转的激光器的功率不高，效率也不高。发射波长在上述范围内的最常见的激光器是工作波长为 3.5 和 2.02 微米的 He-Xe 激光器和波长在 1.15 和 3.39 微米的 He-Ne 激光器。但它们的典型输出功率为几十毫瓦的数量级，效率是千分之几。

1969 年 5 月在激光工程和应用会议<sup>[1]</sup>

上报导了具有 95 瓦输出的 CO 激光器。有一台工作物质体积为 313 立方厘米的激光器的效率大于 20%。

以前，美帝贝耳电话实验室的 C. K. N. Patel<sup>[2,3]</sup>和法国的 F. Legay 和 N. Legay-Sominaire<sup>[4,5]</sup>对 CO 激光器(波长在 5.2 微米到 6.0 微米)已经作过相当多的实验。1968 年初，Legay 报导由 360 厘米<sup>3</sup>的激光管得到了效率为 0.25%、功率为 500 毫瓦的最佳输出。以后，他和他的同事们又从另一台预激励 CO 激光器得到 2 瓦的输出，并于 5 月在美帝圣路易召开的分子激光器会议上报导了这一进展。

Patel 和 Legay 设计的 CO 激光器类似于 Patel 早期的 CO<sub>2</sub> 激光器，即先单独激发氮，然后再在谐振腔内混入 CO 和氧。这种预激励技术所需的较高流速要求一台强力真空泵。（在 Legay 的实验中抽气速度为 25 立方米/小时。）同时，因为氮的激励系与 CO 分开进行，所以任何静态甚至是简单的流动循环体系，对于这种激光器设计是不可能的。

1968 年，美帝空军航空电子学实验室的 R. M. Osgood 和 W. C. Eppers Jr. 报导从 288 厘米<sup>3</sup> 工作物质的 CO 激光器获得了功率是 20 瓦、效率大于 9% 的输出。输出波长在 5 微米至 6 微米，这和 Legay 和 Patel 的激光器的波段相同，但也有几个方面差别很大：不论是 CO—N<sub>2</sub>—He 还是 CO—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—He 混合物都在光学谐振腔中直接由直流或交流激发；激光放电管在液氮槽中冷却到 77°k；气体的流动速度非常缓慢，使得能利用局部节流的、每分钟 144 公升的预抽空机械泵。

这个基本系统改进之后在功率和效率方面所得到的提高在激光工程和应用会议上有所报导。

CO 激光器的一些特点完全可以通过讨论 CO 分子而导出。因为 CO 是双原子分子，与弱非谐振子相似，其各个振动能级间隔在整个基电子态的振动能级范围内是近于相同的，情况如图 1 所示。因为每一组能级之间的间隔是非常小，所以通过放电仅仅激发一组能级的可能性非常微小。如果一组能级刚好满足激光作用条件，那么其它几组能级也同样得到满足。实际上，CO 激光器的 Q 开关在 14 个不同振动带上同时产生作用。这些典型带是  $v=5 \rightarrow v=4$  直至  $v=19 \rightarrow v=18$ 。

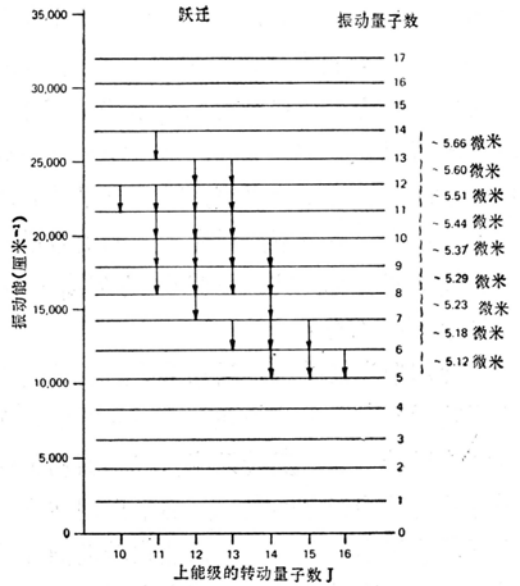


图 1 CO 的平均振动能级和所观察到的跃迁的平均波长。

CO 能级之间的弱的非谐振性使这些跃迁的波长增加，从低振动态到高振动态时，波长从 5.1 微米到 6.01 微米。图 2 列举了连续 CO 激光器的输出光谱。与 CO<sub>2</sub> 激光器一样，热和声对谐振腔产生扰动，导致了各谱线相对强度的变化。

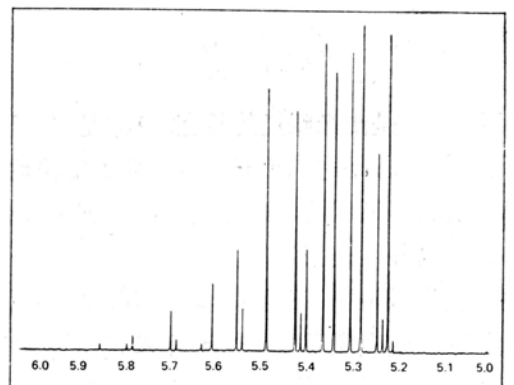


图 2 连续 CO 激光器的光谱。  
(示出了以微米表示的各波长的相对强度。)

如在 CO<sub>2</sub> 分子中一样，CO 分子的每个振动带上迭加了一个转动能级结构，这种

## 激光器的基本设计

结构引起了各个带中跃迁的重迭,因此在大  
部分 CO 激光光谱上,谱线实际上是连续  
分布的。因为转动能级的弛豫非常短(有氮  
存在的情况下是  $10^{-8}$  秒),这些能级就与放  
电管中的气体处于热平衡,转动与平动温度  
相等。在这种情况下,激光器的弱信号增益  
随温度强烈变化,其规律至少是  $T_{平动}^{-5/2}$  (激  
光器中 CO 的分压一定)。

冷却激光器管壁,增加 CO 的反转,也  
可影响增益。因为认为在 CO 激光器中存在  
着部分反转情况,反转只能在二个振动带的  
一定的转动能级之间实现,而不出现在这两个  
振动能级本身之间。如果热化转动能级的  
时间急速,这种反转程度将大大提高,因为  
振动温度与平动温度(“管壁”温度)的比增大  
了。

因为 CO 具有较大的 A 系数,所以在  
仅有部分反转的条件下,也有可能获得很高  
的增益。与在通常条件下振动能级部分或全  
部反转的 CO<sub>2</sub> 激光器比较,可以说明这一  
点。特别是,  $A_{v=9 \rightarrow v=8}$  比 CO<sub>2</sub> 的两个激光  
能级的 A 系数大 1,000 倍。弱信号激光增  
益系数可以写成:

$$\alpha \doteq \frac{1}{42} \left( \frac{m^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \lambda_{12}^2 \left( \frac{A_{12}}{\Delta\nu_{12}} \right) (N_2 - N_1),$$

其中  $\Delta\nu_{12}$  是激光跃迁的线宽,  $\lambda_{12}$  是激光波  
长,  $N_2 - N_1$  是这二个能级间的粒子反转数。  
这个公式是近似的,因为它假设上能级与下  
能级的简并度是相等的。

因为 400°K 下的 CO<sub>2</sub> 与 100°K 下的  
CO 的  $\Delta\nu_{12}$  的数值相同,5 微米的  $\lambda^2$  大约  
就比 10 微米低 4 倍,而 CO 的  $A_{21}$  则比 CO<sub>2</sub>  
大 1,000 倍左右,CO 的  $v=9 \rightarrow v=8$  跃迁  
在弱信号增益相同的情况下,所需要的粒子  
数反转约比 CO<sub>2</sub> 的  $00^1 \sim 10^0$  跃迁小 250  
倍。

图 3 是这类实验中最常用的 CO 激光器的  
基本设计。图 4 是实验装置的照片,除致  
冷槽之外,其外表很象一台较原始的 CO<sub>2</sub> 激  
光器。这台激光器的典型工作条件是放电电  
流 25 毫安,两端之间的电压降 10,000 伏。  
最佳气体混合比是 CO 0.4 毛, N<sub>2</sub> 1.0 毛,  
O<sub>2</sub>  $\leq 0.025$  毛, He 6 毛。关于各种气体混合  
物的影响在参考资料 8 中有详细的讨论。

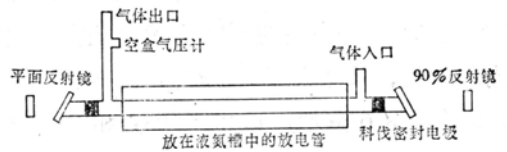


图 3 CO 激光器的尺寸: 光学共振腔 2 米,  
冷却槽 1.3 米, 放电管全长 1.5 米, 管直  
径 4 厘米。

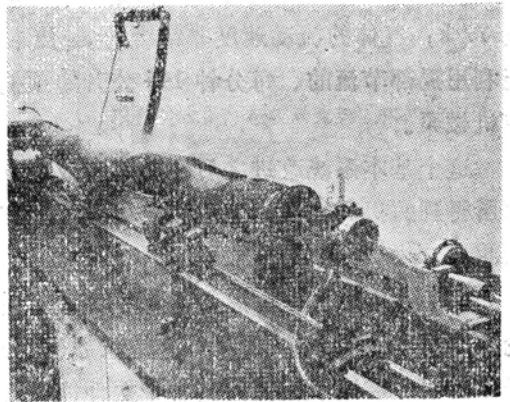


图 4 CO 激光器。

正如根据弱信号增益随平动温度的变化  
关系所预料的那样,每单位体积气体的功率  
是随着放电管直径的增大而减小的。内反射  
镜可大大提高激光器的性能。例如,在图 3  
所示的激光器中加入内反射镜,输出功率就  
提高三倍。

用一块可旋转的涂铝平板代替 100% 反  
射率的静止反射镜,就可以实现 Q 开关<sup>[9]</sup>。

与 CO<sub>2</sub> 激光器的情况相同, 因为反射镜每旋转一次只调一次或二次 Q, 所以不能从 CO 激光器中获得连续工作时所能获得的全部功率。这是因为二个脉冲间的“间断时间”比激光器的恢复时间(大约是 10<sup>-4</sup> 秒)长。如果靠增大镜子的旋转速度来缩短“间断时间”, 那么“作用”时间就不足, 以致不能构成一个完整的脉冲。因为每个脉冲没有完全取出应该有的能量, 所以平均功率可能比缓慢旋转时低些。

但是, Q 开关增加了有用的峰值功率。例如, 图 3 所示的激光器所得到的最大连续输出功率是 15 瓦, 但安置了 Q 开关后, 就可以获得峰值功率 10,000 瓦。脉冲宽度由开关的接通时间及谐振腔的对准情况决定, 一般是 200~800 毫微秒。Q 开关的另一个有趣的结果是显示激光作用的振动带的数目以及在一个带内跃迁的数目都有所增加。这样, 典型的 CO 激光器在连续工作时大约在 12 个带上分布了 20 条不同的光谱线, 而在安置 Q 开关后, 激光器将在分布于 15 个带中的 60 条线上发生激光跃迁。带数的增加使激光器的输出波长的上界限从大约 5.8 微米外推至 6.1 微米。

### 三个问题

CO 激光器的一个主要困难是高功率运转时需要低温冷却。除设计可再填充的致冷外套时所固有的一些问题之外, 冷却到 77°K 也会在放电管内引起一起困难。在液氮温度下, 作为放电的副产品而出现的 O<sub>3</sub> 和 CO<sub>2</sub> 会冻结在管壁上。在放电管直径较小、(≤ 1 吋) 流速较低或氧气大大过剩的情况下, 两种化学产物都容易在 CO—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—He 混合气体中生成, 这种化学泵浦在 77°K 时不仅妨碍了密封操作, 而且 O<sub>3</sub> 的存在又产生

了工作安全问题。美帝空军航空电子学实验室和宇航公司试图重新激发已涂上一层黑蓝色的固态 O<sub>3</sub> 的激光器时, 发生过爆炸。直径小于 1 吋的管子的温度升高到室温时, 其爆炸危险似乎最大。

消除冻结的一种方法是使激光器在 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的凝固点之上工作。曾将丙醇干冰槽用到已能产生功率为 95 瓦、效率为 20% 的输出的激光器上, 结果所得到的最大功率是 10 瓦, 效率是 8%, 但在放电管壁上没有发现气体的冻结。

CO 激光器的第二个严重困难是不同振动带的重迭问题。在上或下振动带中, 反转数足够小, 以致仅仅在带中心的一些谱线上产生激光作用, 因而带不重迭; 最小的谱线间隔大约是 0.01 微米。激光光谱的中心部分, 反转大得在一个带中有 7~8 个跃迁能够激励, 因而带发生重迭, 谱线的最小间隔可能非常小。例如, 如果  $v=13 \rightarrow v=12$  带中的 P(15) 跃迁与  $v=14 \rightarrow v=13$  带中的 P(8) 跃迁都具有足够的增益来产生激光作用, 那末激光谱线间隔就只有 0.004 微米。如此小的间隔将很难使激光器在单一波长上振荡, 而这对于那些轴模间隔小于线宽且总激光增益很高的长激光器(约 2 米)尤其正确。

使 CO 激光器在单一波长上运转的另一困难是得不到多波长运转时所能得到的全部功率。到现在, 在以光栅作为一块端面反射镜的实验中所能产生的单波长功率大约只有与波长无关的谐振腔的 10% 到 20%。但是, 在 CO<sub>2</sub> 激光器中, 全部功率可以迭加在一个跃迁上。产生这种差别的原因是因为 CO 是在几个带上工作, 而 CO<sub>2</sub> 激光器则只在一个带, 或至少是在单上能级上工作。这样, 要把 CO 激光器所有的功率迭加在一个

波长上,就需要振动和转动能级之间出现交叉弛豫,这是一种效率比  $\text{CO}_2$  激光器的单波长运转所要求的强转动交叉弛豫的效率低得多的过程。

### 参考资料(略)

取自 R. M. Osgood Jr., E. R. Nichols, *Laser Focus*, 1969(Dec.), 5, №23, 37~39

## 适合空间应用的激光器

这种小巧而结实的氦-氖激光器能经得起土星 V 号火箭发射时的环境条件,并能在空间维持三年,估计它在地球上和地球附近还会有许多应用。

空间激光通讯问题已在好几个计划中研究过,但是制造完全适合于空间应用的激光器的第一个计划是在最近才完成的。

本文描述将在这些任务中飞行的实际装置。激光器必须经得起土星 V 号发射时的典型环境条件,然后必须在空间于三年时期内运转 10,000 小时。

虽然这计划的目标是空间应用的激光器,但这种激光器还须适用于在恶劣的环境中要求长寿命的其他应用,如野外测量或对准、航空数据记录、扫描、用于加工装置、或在偏僻的、暴露的或无人看管的地方运转。

表 1 给出了 3072H 型激光系统的大概规格。主要是由于 He-Ne 激光器的寿命长,所以选用了它。这种要求就需要 He-Ne 激光器结构的设计有新的特色。这种设计的显著特点是:

- 坚固,全金属陶瓷结构允许高温烘烤和极洁净而精密地加工。
- 长寿命,冷阴极放电使可能有最高的运转效率,所产生的热也最少。
- 内反射镜减少了光学谐振腔的损失,并避免了灰尘或其他表面污染问题,因而维持了偏振输出。
- 最佳光学谐振腔支撑结构所使用的材

料和几何形状可使热梯度、振动和外机械应力的影响减到最少。

- 放电管和电源组合在一个外壳之中,其中封入氦气,以使在光学谐振腔支撑结构上因高度变化而产生的应力减到最小,并促进元件的冷却,减轻电晕放电问题。

- 全固态双电源,具有精密的电流调节和在空间考验过的电路。

表 1 休斯公司的适用于空间应用的 3072-H 型激光器的大概规格

---

输出: 632.8 毫微米处 TEM <sub>00</sub> 模的输出为 5 毫瓦; 平面偏振波。
输入: 33 瓦(最大值), 24 到 32 伏直流电压。
尺寸: 16½ × 8 × 3 吋。
重量: 14 磅。
寿命: 搁置寿命 3 年, 运转 10,000 小时(至少)。
光束稳定: 对参考边缘的偏离小于 10 微弧度。

---

### 放电管的设计

金属陶瓷激光放电管使用为加固微波管而发展了好几年的真空管制造技术。几乎所有的真空密封都用高温铜焊材料或太阳弧焊接(heliarc weld)。只有玻璃输出窗例外,在本文所述的装置中,采用了多少有一点标准的玻璃和科伐玻璃密封。经高温烘烤和进一步处理后,放电管用一种特殊的半硬封焊