

秒)\*中,发生极快的混合与反应(100~200微秒);激光输出主要来源于气流的这一部分<sup>[3]</sup>。气流以声速离开聚四氟乙烯管,在由侧管排出之前,膨胀的气流沿2.54厘米内径的硼硅酸玻璃管再流动60厘米。流动激光管的全部内壁表面依E. A. Ognyzlo<sup>[7]</sup>的方法涂上H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>,情况与参考资料2与3所叙述的情况相似。

用校准的10.6微米衰减器和Eppley热电堆测得图1光学谐振腔的激光器功率输出。当分流速为:F<sub>2</sub>=390微克分子/秒、He=3830微克分子/秒、NO=19微克分子/秒、D<sub>2</sub>=360微克分子/秒、CO<sub>2</sub>=1,570微克分子/秒时,已观察到这种DF-CO<sub>2</sub>激光器的最大输出功率是0.23瓦。在此条件下,紧接聚四氟乙烯反应管上游端的压力是9托。气流刚好进入膨胀区之前,压力沿聚四氟乙烯反应管下降到大约6.7托(较上游处的数值小65%)。膨胀后气流的压力是1.0托。

图2表示用测辐射热计和调谐放大器观察到的、由于各种气体的分流速的各自的变化而引起的DF-CO<sub>2</sub>激光器输出功率的相对变化。每一种气体的分流速改变时,其他气体的流速大约保持以上给出的数值。每种气体的流速都根据那种气体的最佳流速值归一化。

该大学实验结果表明“流动”系统是可行的。由于他们的系统是依靠碰撞机理运转,

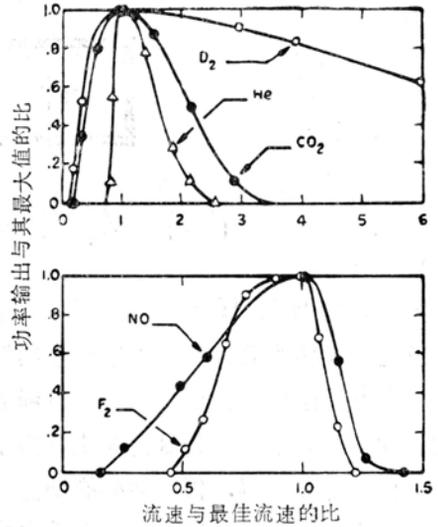


图2 DF-CO<sub>2</sub>激光器功率输出与分流速的变化关系。

与其他一些化学激光器系统不同,最大尺寸没有限制,故他们认为该系统可以发展成高功率激光器。这种连续波化学激光器可作空间应用。

据说,化学激光器首先由加利福尼亚大学研制。他们在用化学激光器研究在化学反应动力学中振动—转动能级的作用。其他小组也报道了连续化学泵浦激光器,但是迄今为止仍需外部能源。

#### 参考资料(略)

- 取自 T. A. Cool et. al.; *J. Chem. Phys.*, 1969(Dec. 1), 51, №11, 5175~5176  
*Phys. Today*, 1969(Dec.), 22, №12, 55  
*Chem. Engng News*, 1969(Dec. 15), 47, №52, 58

\* 有的文章报导的是600米/秒——编者。

## 热泵浦二氧化碳激光器

已报道<sup>[1]</sup>热泵浦二氧化碳—氮气系统10.6微米光学增益的观察<sup>[2]</sup>。对器件稍加改装之后,现已使增益增加到足够高的程度,

可制成峰值输出约20毫瓦、弱信号峰值增益为11%的激光器。现对图1所示之装置作如下叙述:

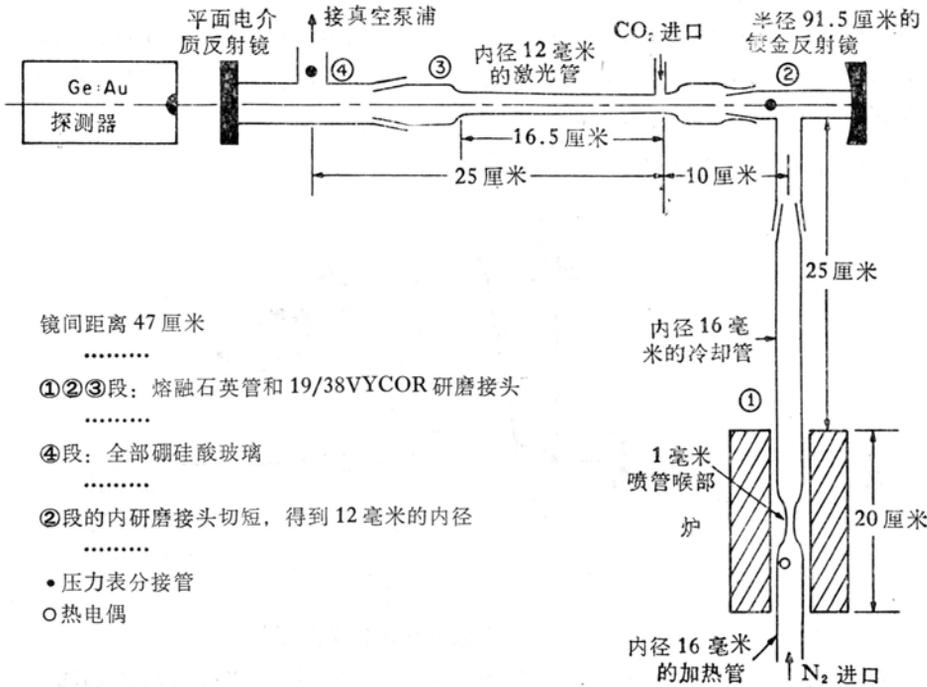


图 1 热泵浦二氧化碳激光器简图。

(1) 压力约 400 托的氮气在炉中加热到  $1,200^{\circ}\text{C}$ , 此时温度由温差电偶测得。当气体在  $27^{\circ}\text{C}$  进入炉中时, 气体流动的估计速率为 25 厘米/秒, 温度达到  $1,200^{\circ}\text{C}$  时速率约为 125 厘米/秒; 这些流速必须足够低, 以使振动温度  $T_v$  与平动温度  $T_t$  达到平衡<sup>[3]</sup>。  $T_v$  (振动温度) 确有时间与  $T_t$  (平动温度) 达到平衡的实验证据是炉子长度加倍时激光器的性能基本不变。

(2) 氮气通过收敛—发散状的、喉部直径为 1 毫米的喷管膨胀, 达到低压超音速状态, 并从炉中出来进入管壁温度接近室温的一段管子中<sup>[4]</sup>。冷却管中的冲击驻波<sup>[4]</sup>使气体减速到约 3.4 厘米/秒的亚音速, 而压力变为 6 托左右。超音速与冲击波都不在激光器装置中直接测得, 而是根据对非常相似的喷嘴管装置进行的皮氏管测量而推导出来的。

用冷却管是为了迅速降低氮气平动温

度。低压、高流速以及伴随着低平动温度的低振动弛豫率<sup>[3]</sup>将使氮气在进入激光管时的振动温度大于平动温度 ( $T_v > T_t$ )。注意到现有装置中没有利用伴有加速到超音速的快速气体冷却——氮气在冲击驻波中减速时再次被加热, 且最后必然在与冷却管管壁发生传导时失去其平动能。因而直接利用超音速冷却更为有效, 特别是对传导冷却变得很慢的大口径管更是如此。

(3) 受激励的氮气进入激光管后与压力为  $1\sim 1.5$  托的室温二氧化碳气体混合。由于氮气的第一受激振动态和二氧化碳的  $00^{\circ}1$  态接近重合, 在 50 微秒时间内激励能量即转移给二氧化碳<sup>[5]</sup>。这就引起二氧化碳  $00^{\circ}1-10^{\circ}0$  跃迁的反转, 从而有可能制造 10.6 微米激光器 (对于某些腔长也已探测到 9.6 微米跃迁, 即  $00^{\circ}1-02^{\circ}0$  这种微弱振荡)。同时观察到  $00^{\circ}1-10^{\circ}0$  带的 R 和 P 跃迁这一事

实说明存在完全反转,而不只是部分反转<sup>[6]</sup>。

激光反射镜之一是一块曲率半径为91.5厘米或152厘米的镀金表面,另一块是反射率为99.6%或95%的电介质涂膜平板。仅试验反射率为95%的电介质平板与

91.5厘米球面镜联合使用的情况。所有三种反射镜组合都得到同样的功率输出。

单程弱信号增益由图2所示的平衡电桥测得。

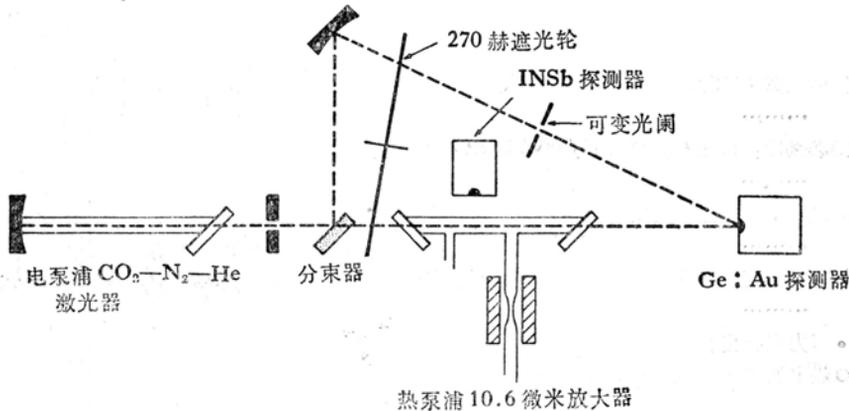


图2 测量增益的装置。在测量光增益的纵向分布时桥的上部阻断,测量总增益时不用 InSb 探测器。

两束光被270赫的遮光轮交替遮没,调节可变光闸,使与Ge: Au探测器相连的相敏探测器接收到的信号为零。注入二氧化碳引起的增益可由桥的不平衡测得。通过这种方法能很方便地用噪声探针激光器测量弱信号增益。

探测激光器的波长的观察与控制都不在测量增益的值时进行,然而,随后用光谱仪进行的观察相当肯定的表明,探针激光器在接近P(20)的某一跃迁上运转。曾有这样的事,当炉温偶然升到1,250°C时(此时石英管变形,石英管在1,200°C时就开始软化)观察到了11%的增益。5%~10%之间的增益较为典型。图3(a)(b)表示两种重要的定性的趋势。图3(a)表示功率输出随炉温迅速上升。因此,应用高温材料就能大大增加功率输出。

以下的计算表示在理论上激励随炉温的迅速增加,它论证了这个推论,例如在

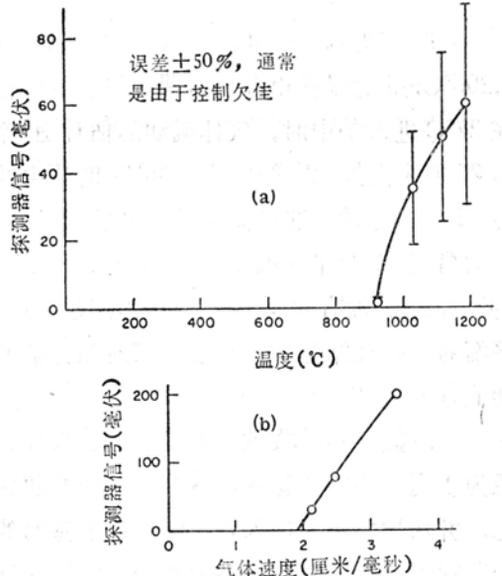
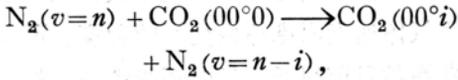


图3 (a) 热激光系统的功率输出与炉温的关系; (b) 功率输出与气体速度的关系。

1,200~1,650°C之间激励将加倍。

取一级近似,即假定所有振动量子对激光有相等的贡献。因此,如果有一个受激的

氮气分子( $v=n$ ), 它就能通过如下反应把激励能转移给  $\text{CO}_2$ :



这样最终氮的所有振动激励能有同样可能被转移给  $\text{CO}_2$ 。Patel<sup>[6]</sup>认为, 氮气 ( $v=n$ ) 和二氧化碳 ( $00^0n$ ) 能级的接近一致使共振转移成为  $n$  等于 6 的过程, 这过程包括在  $1,500^\circ\text{K}$  时多半会存在的所有激励。一旦激励能转移给  $\text{CO}_2$ , 则认为<sup>[5]</sup>各  $\text{CO}_2(00^0n)$  态的快速碰撞耦合会把它馈入高激励水平  $\text{CO}_2(00^01)$ 。取热平衡条件时, 下式给出了氮气振动量子数的近似值:

$$f = \frac{\text{量子数}}{\text{分子数}} = e^{-h\nu_1/kT} + 2e^{-2h\nu_1/kT} + 3e^{-3h\nu_1/kT} + \dots = e^{-h\nu_1/kT} / (1 - e^{-h\nu_1/kT})^2$$

其中  $\nu_1 = 2,331 \text{ 厘米}^{-1}$ ,  $\text{N}_2$  的能量 ( $v=1$ )。我们仅用式中前 5 或 6 项表示能转移给  $\text{CO}_2$  的能量, 而在  $T \leq 1,500^\circ\text{K}$  时, 较高次项就无关紧要, 因而这种近似是有效的。很难找到一些满意的计算 (假定在各种过程中一部分振动激励能有所损失), 仍能导出有用的激励强烈依赖于温度这一结果。

图 3(b) 表示功率输出与气体速度极有关系。这种关系可解释如下: 对任一给定几何结构来讲, 由于管壁碰撞、体积碰撞和受激发射而引起的激励损耗之间的平衡将决定一系列最佳气体压力, 这些压力基本上与气体的运动速度无关。如果压力已定, 则在每秒内进入激光管的气体的质量, 因而有效激光激励, 正好与气体速度成比例。

已观察到沿 8 毫米管子内增益的分布, 这根管与激光管类似, 具有参考资料 1 中所描述过的那种侧光调制装置。如图 2 所示, 电泵浦二氧化碳激光器的几分之一瓦的输出被频率为 270 赫的遮光轮遮断, 并通过热泵

浦激光器。连接铈化钢光电管与相敏探测器, 可以观察到 4.26 微米侧光的 270 赫的分量。相敏探测器的参考相位由直接观察激光输出的  $\text{Ge}:\text{Au}$  光电管确定。由于 10.6 微米探测激光器存在正常粒子数的情况下增加侧光, 存在粒子数反转时减少侧光, 因此侧光调制相对于探测光束的遮光相位就表示是增益还是损失。4.26 微米信号很强, 以致通过 1 毫米熔融石英管壁也能看到, 因此不需要窗口。

图 4 表示三种典型的增益分布。在最佳气体压力下绘出的曲线 B 表示仅在沿管 25 厘米内有小信号增益; 到了 25 厘米的地方, 碰撞使粒子数反转消除。对内径 12 毫米的管进行同样测量时, 由于这些管内流速降低, 得到长仅 12~15 厘米的“增益长度”。由于这种原因, 当激光管的有效长度从 25 厘米缩短为 13 厘米时, 得到几乎相同的功率输出。

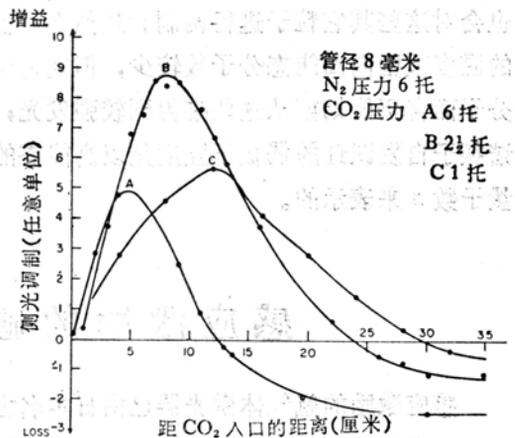


图 4 沿热激励激光管的增益分布。

曲线 A 表示使二氧化碳压力增加到最佳值以上时的效应, 越来越显著的体积碰撞使  $00^01$  态的寿命缩短。曲线 C 表示低于最佳二氧化碳压力时预料之中的激励态寿命的增加。

图 4 所示的压力-寿命关系的第二种因素是由于氮气所代表的激励贮存的消耗速率是变化的。管壁和体积碰撞对振动激励的氮气的去激励作用远不如激励二氧化碳有效<sup>[7,8]</sup>，因而，就第一级近似来讲，所有的去激励作用都是通过二氧化碳实现的。二种气体必须在近似平衡的基础上（也即  $T_{v-\text{CO}_2} \approx T_{v-\text{N}_2}$ ）不断分摊激励能，因为由管壁和体积碰撞引起激励能损失的特性时间约为 1 毫秒<sup>[8]</sup>，而交换的特性时间小于 0.1 毫秒<sup>[5]</sup>。因此较高的二氧化碳压力表明在二氧化碳中占有较大分数的振动能量，从而引起整个能量更迅速地空竭。

在说明侧光调制数据时必须指出的是，所观察到的 4.26 微米侧光的一部分可能来自于高能态二氧化碳( $00^\circ n$ )， $n > 1$ ，它是由于与氮气( $v=n$ )碰撞而受到激励的。由于各种  $00^\circ n$  态的快碰撞耦合，用探测激光束对  $00^\circ 1$  态粒子进行的频率为 270 赫的调制也会对这些其它粒子进行调制。虽然在我们的温度范围内高能态分子数较少，但就每个分子而言仍能期望从这些态得到较强发光；谐振子自发跃迁的偶极子强度是以高能态的量子数  $n$  来表示的。

## 感应激励的氩离子激光的特征

感应激励的氩气体激光器已由日本名古屋大学详细地研究过。两台装置能运转。第一台装置具有直径 6 毫米的放电管，由 10 微秒直流脉冲感应激励，第二台具有直径 10 毫米的放电管和 40 微秒的脉冲。在 6 毫米激光器中观察到 5 种跃迁，而在 10 毫米装置中只找到两种跃迁。4,880 埃跃迁的激光脉冲

最后将指望用直径大于 12 毫米的激光管减少扩散所引起的激励能损失，从而尽量减小气体速度因摩擦而变低的程度。因为总轴向增益目前很低，暂时还必须使用较小的管子，这可从以下讨论得知。泵浦在每秒内输送一定体积的气体。增加管的横截面时，线速度就按比例下降，得到与以前有相同质量的激活气体，在比较短而粗的圆柱体积内扩散开来，结果总轴向增益下降，这样，任何直径的增加使激光器低于阈值，这种效应已由实验证明。

热泵浦的主要应用是研究分子激光物理。由于存在低粒子能量，热泵浦系统不含带电粒子。而且，与电泵浦激光器中化学变化的巨大重要性不同，此处使用的气体在激光器中事实上不经历化学变化<sup>[9]</sup>。这种简单性使我们有可能弄清也会在电泵浦分子激光器中发生的某些过程。例如，目前正在研究气体添加剂对热泵浦二氧化碳激光器的影响。

### 参考资料(略)

取自 *Appl. Phys. Lett.*, 1969 (June 1), 14, No 11, 337~340

仅在压力高于 30 毫托、脉冲激励时间为 40 微秒时观察到。4,765 埃跃迁的尖峰激光强度已饱和，但在 6 毫米放电管中，在强电流高压下也不猝灭（虽然其他四种跃迁都已猝灭）。

取自 *Laser Focus*, 1969 (July), 5, No 13, 10