

烷类蒸汽对脉冲光泵 D_2O 和 CH_3F 远红外 激光器输出能量的影响

潘承志 赵塞北

(北京真空电子器件研究所)

提 要

本实验研究了环戊烷、己烷、正庚烷和正辛烷等四种烷类蒸汽对脉冲光泵 D_2O 和 CH_3F 以及 D_2O-CH_3F 混合气体超辐射远红外激光器输出能量带来的影响。发现它们均能使 D_2O 发射的 $66\ \mu m$ 、 $114\ \mu m$ 和 $385\ \mu m$ 以及 CH_3F 发射的 $496\ \mu m$ 谱线能量有不同程度的增加。其中,对长波长谱线($385\ \mu m$ 和 $496\ \mu m$)输出能量的影响最为显著,净增加达 $30\sim 90\%$ 。本文把这种作用归因于它们对泵浦光的强散射作用,从而使泵浦光被活性分子更多地俘获,以及相对于它们的分子量来说有大的振动热容量,从而减轻瓶颈效应。

一、引 言

作者曾经报道,运用光栅调谐的 TEA- CO_2 激光器,光泵超辐射管中的 D_2O 和 CH_3F 以及 D_2O-CH_3F 混合物,已成功地获得了 4 条远红外激光谱线^[1]。但是,这些光泵激光器的转换效率较低,仅在千分之几或更小的量级。究其原因,是由于低气压运转时泵浦功率不能被活性分子完全吸收,高压运转时则受瓶颈效应的限制^[2~5]。解决这些问题的方法之一是通过在活性气体中加入适量合适的缓冲气体。

T. Y. Chang^[2] 曾用九种不同的缓冲气体对 CH_3F 的 $496\ \mu m$ 谱线输出功率的影响进行了细致的研究,发现己烷可使 $496\ \mu m$ 输出功率净增加 55% 。文献[6]也证实了这一点。他们都是在宽脉冲($350\ \mu s$)和连续泵浦情况下进行实验的。

本文将这种方法推广到短脉冲($\sim 200\ ns$)泵浦的远红外激光器中,选用对泵浦光和远红外光基本无吸收的、体积大而较轻的烷类分子——环戊烷(C_5H_{10})、己烷(C_6H_{14})、正庚烷(C_7H_{16})和正辛烷(C_8H_{18})——作为缓冲气,均使超辐射远红外激光输出有不同程度的提高。

本文报道了实验结果,并对结果进行了讨论。

二、实验结果

1. 装置与方法

泵浦源是一台光栅调谐的 TEA- CO_2 激光器,选择光栅转角,可得到泵浦 D_2O 和 CH_3F 所需要的 $9P32$ 、 $9R12$ 、 $9R22$ 和 $9P20$ 。每条泵浦线单脉冲输出能量可在 $2\sim 7J$ 之间变化。

收稿日期: 1982年6月4日

超辐射远红外激光管是一根直径 34 mm、长 1.9 m 的玻璃管, 接近泵浦源的一端有一块 NaCl 垂直窗, 供 CO_2 激光入射用; 另一端为聚四氟乙烯垂直窗, 供远红外激光输出用, 也可吸收剩余的 CO_2 激光。远红外输出能量由 NJ-J1 型能量计测量。

实验时, 在超辐射管中先充入一定气压的远红外工作物质, 并在一定的 CO_2 激光能量泵浦的条件下, 测出远红外的输出能量; 然后在此状态下, 逐渐向超辐射管中加入缓冲气体, 仍保持泵浦条件不变, 逐一测出远红外输出能量。这样就可得到图 1(a)~(d) 中的一条用细实线表示的曲线。曲线的低气压端始点为纯远红外工作物质的远红外激光输出, 其余为加入缓冲气体后的混合气的远红外激光输出。然后, 改变起始的纯远红外工作物质的气压, 并按上法进行, 就得到图 1(a)~(d) 中的各条用细实线表示的曲线, 它们表示了具有不同起始纯远红外工作物质与缓冲气体之比及总气压对远红外激光输出的影响。将这些曲线的始点连接起来, 就是纯远红外工作物质的远红外激光输出随气压的变化曲线, 在图 1(a)~(d) 中以粗实线表示。

我们对每条远红外谱线和每种缓冲气体, 均在 2~4 J 和 5~7 J 两种泵浦能量下进行试验, 以作比较。

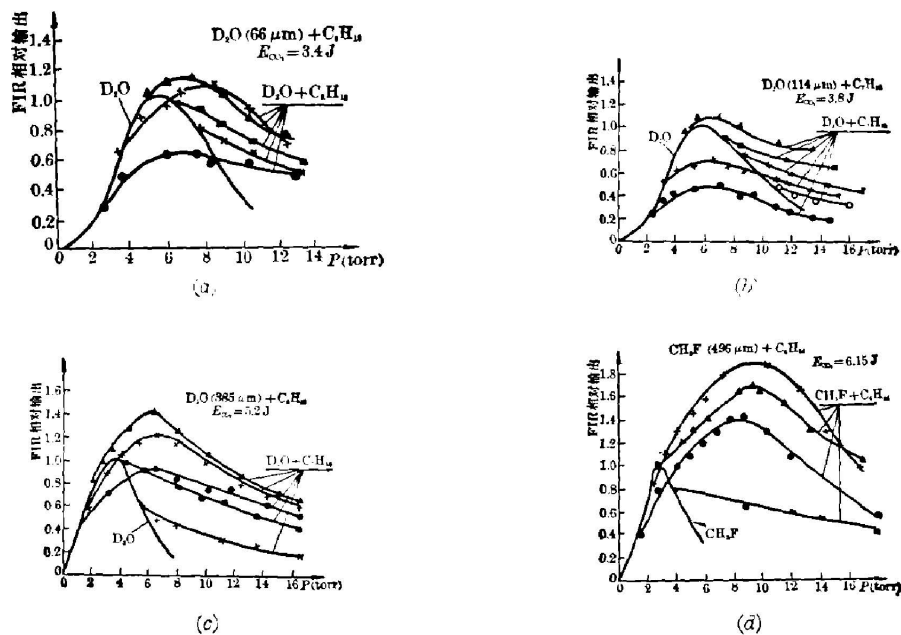


图 1 烷类缓冲气对输出能量的影响

Fig. 1 Effects of buffer gases on the energy outputs

2. 结果

按上述方法, 得到了 32 组实验曲线, 图 1(a)~(d) 是其中四组, 分别对应于 $D_2O(66 \mu)$ + C_7H_{16} , $D_2O(114 \mu)$ + C_7H_{16} , $D_2O(385 \mu)$ + C_5H_{10} 和 $CH_3F(496 \mu)$ + C_6H_{14} 。图中远红外输出能量以相对单位表示, 以纯远红外工作物质的最大输出为 1。表 1 归纳了实验结果。

由图 1(a)~(d) 及表 1, 得到如下实验结果:

(1) 四种烷类缓冲气体均能使四条远红外谱线的最大输出得到不同程度的净增加; 相

表 1 烷类缓冲气使远红外激光输出的净增长值
Table 1 Net increases of FIR energy due to buffer gases

烷类 \ 波长	66 μm	114 μm	385 μm	496 μm
C_5H_{10}	13~15%	15~23%	29~43%	37~67%
C_6H_{14}	6~9%	2~13%	16~20%	54~90%
C_7H_{16}	10~17%	4~9%	8~13%	33~52%
C_8H_{18}	2~13%	4~5%	6~50%	44~67%

应的最佳总气压向高压方向移动。

(2) 当起始的纯远红外工作物质气压较低, 即处于纯工作物质的最佳气压的左侧时, 加入缓冲气体, 使激光输出增长。但在混合气压比纯工作物质的最佳气压低得较多时, 在同一总气压下, 加入缓冲气体后的输出则低于纯工作物质时相应的输出。然而当混合气体的总气压超过纯工作物质的最佳气压时, 激光输出继续增加, 直至超过纯工作物质的最大输出。再继续增高缓冲气压, 输出又开始下降, 即混合气体存在一个最佳总气压, 使远红外输出净增加最大。

(3) 当起始的纯远红外工作物质的气压较高, 即处于纯工作物质的最佳气压的右侧时, 加入缓冲气体, 激光输出明显增长, 并且可在宽得多的总气压范围内, 有较强的激光输出, 但不会超过纯工作物质时的最大输出。

(4) 波长越长, 缓冲气体引起的最大输出净增加越大; 波长越短, 缓冲气体引起的最大输出净增加越小。对同一波长, 不同的缓冲气影响也各异。

(5) 图 2 为在 $\text{CH}_3\text{F} + \text{C}_6\text{H}_{14}$ 混合气情况下, 不同泵浦能量对远红外激光输出的影响。图中以泵浦能量为 6.15J 时纯远红外工作物质最佳气压下的输出为 1, 作了归一化。实线表示泵浦能量为 6.15J, 虚线表示泵浦能量为 4J。由图可以看出, 泵浦能量高时, 加入缓冲气体的作用比泵浦能量低时更明显。对于其它的工作物质与缓冲气的组合, 亦有类似的结果。

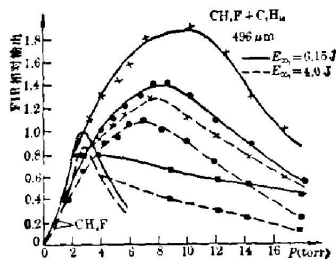


图 2 泵浦能量对远红外激光输出的影响

Fig. 2 Effects of different pumping energies on FIR energy outputs

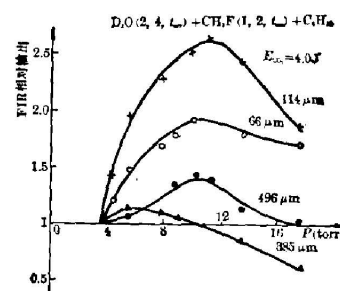


图 3 C_6H_{14} 对脉冲光泵 $\text{D}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{F}$ 混合气远红外激光器输出的影响

Fig. 3 Effect of buffer gases C_6H_{14} on the energy outputs of a mixture $\text{D}_2\text{O} - \text{CH}_3\text{F}$ optically pumped FIR laser

(6) 对于 D_2O-CH_3F 混合气, 再加入缓冲气体, 亦能使各谱线的输出有不同程度的增加。图 3 给出加入 C_6H_{14} 的结果。图中均以未加缓冲气体前各谱线的自身输出为 1, 而后加入缓冲气体, 测出各谱线输出随总气压的变化。

三、讨 论

在光泵远红外激光器中, 工作物质吸收了泵浦激光的光子, 而从低振动态的某一转动能级跃迁到某一较高振动态的某转动能级上, 并在相邻近的转动能级间形成粒子数反转。因此, 增大工作物质对泵浦光的吸收, 可使激光器的输出增大。

文献[2]~[5]指出, 在脉冲光泵远红外激光器中, 也会发生类似于连续波激光器中发生的瓶颈效应。这一方面是因为脉冲光泵远红外激光器的工作气压一般为几至十几 torr, 转动能级寿命短达几至零点几 ns, 故由泵浦所产生的粒子数反转因快速的分子间碰撞而在各转动能级上趋于热平衡; 另一方面, 振动弛豫却慢得多($\mu s \sim ms$)。在典型的泵浦脉冲宽度(本实验条件下为 200 ns)下, 这样形成的瓶颈效应会使激光输出下降。

在本实验中所使用的超辐射远红外激光器中加入缓冲气体, 正是通过增大工作物质对泵浦光的吸收和减轻瓶颈效应这两种积极作用, 而使激光输出增大的。

在低气压段, 工作物质的分子数稀少。当泵浦光单程通过低密度的超辐射管时, 泵浦光不能被充分利用。加入缓冲气体后, 使管内的粒子数密度大大增加, CO_2 光子被缓冲气体分子碰撞散射, 在管内可通过较长的路程, 从而有更多的机会被工作物质分子所俘获, 也就是相应增大了非饱和吸收系数, 故输出增大。但是, 正是由于缓冲气体仅仅起到增加 CO_2 光子被活性分子俘获的机会, 可以看到, 在纯工作气体的最佳气压的左侧, 在同一总气压下, 加入缓冲气体后的输出能量仍小于纯工作气体的输出, 因为活性分子毕竟有限。

为了证实这一作用, 作了如下的实验。将激光管的输出窗也换为 NaCl 窗, 然后测量不同充气情况下 CO_2 能量的损失, 得到图 4 的结果。对于其它的缓冲气体和波长, 均得到相似的结果。

由图 4 可以看出: (1) 这些缓冲气体分子确实对 CO_2 泵浦光吸收极小; (2) 在使用纯远红外工作物质时, 随着气压的增高, CO_2 泵浦光越来越多地被吸收, 近似地呈指数型衰减; (3) 在某一工作气体气压下, 开始逐渐加入缓冲气体, 此时不是保持吸收基本不变(如图中虚线所示), 而是随着缓冲气体气压的增高, CO_2 激光被越来越多地吸收; (4) 在同一总气压下,

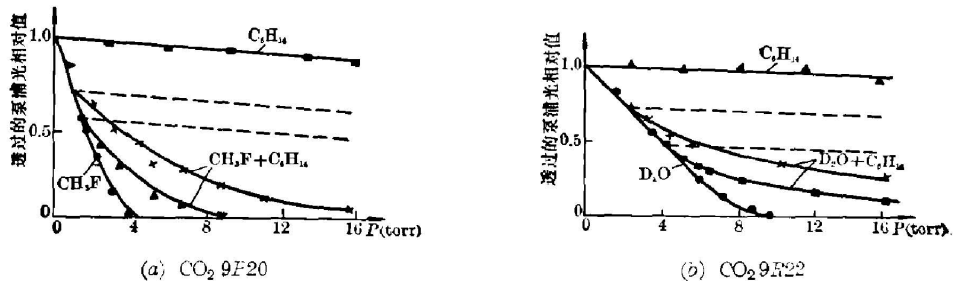


图 4 不同充气情况下 CO_2 激光能的损失情况

Fig. 4 The losses of CO_2 laser energy in different conditions

工作物质加缓冲气体后 CO_2 激光的吸收稍小于纯工作物质的吸收。

将图 4 与图 1(a)~(d)相比较,在最佳气压的左侧得到了一一对应的关系。这说明:在低气压情况下,加入缓冲气体时,由于增大了非饱和吸收系数,而使远红外激光输出增大。

在高气压段,管内工作物质分子稠密,此时,由于显著地增大了转动弛豫速率和线宽,也减慢了受激分子向器壁的扩散,这样,瓶颈效应起主导作用。同时,由于选用的缓冲气体均为大分子,它们具有大量的振动态,可以与激光下转动能级及一系列转动能级发生共振能量转移;而且,由于它们也具有较大的振动热容量,能够吸收工作物质振动弛豫的能量,加快振动弛豫速率,使振动温度降低。这就说明了在高气压段的同一总气压下,加入缓冲气体后的远红外输出能量比使用纯工作物质的输出能量要高一些。

在活性物质中加入缓冲气体,其积极作用是增大非饱和吸收系数,降低振动温度,使上转动能级寿命减小。这样,就必然导致一个最佳的活性分子与缓冲气体之比和总气压,使激光输出最大。这已为实验所证实。加入缓冲气体后,使最佳总气压向高气压方向偏移,说明在一定范围内,其积极作用超过负作用。

实验^[1]表明,在未加缓冲气体时, D_2O 的 $66\ \mu\text{m}$ 、 $114\ \mu\text{m}$ 、 $385\ \mu\text{m}$ 和 CH_3F 的 $496\ \mu\text{m}$ 相应的最佳气压依次为 $\sim 5\ \text{torr}$ 、 $\sim 5\ \text{torr}$ 、 $\sim 3\ \text{torr}$ 和 $\sim 2\ \text{torr}$,随着波长的增长,其最佳气压逐渐降低,瓶颈效应开始起主导作用的气压越来越低。但是,加入缓冲气体后,均使最佳总气压向高处移至 $\sim 6.5\ \text{torr}$ 至 $\sim 10\ \text{torr}$ 。对于长波长谱线而言,最佳气压有了相当大的提高,对于短波长而言,最佳气压提高得有限。从克服瓶颈效应的效果来看,就可说明实验上观察到的波长越长,缓冲气体带来的输出净增加越大,反之亦然。

四、结 论

实验证明,在短脉冲($\sim 200\ \text{ns}$,相对于前人工作^[2,3]而言)光泵的 D_2O 、 CH_3F 和 $\text{D}_2\text{O}-\text{CH}_3\text{F}$ 混合气超辐射远红外激光器中,加入环戊烷、己烷、正庚烷和正辛烷等四种烷类缓冲气体,可使 D_2O 发射的 $66\ \mu\text{m}$ 、 $114\ \mu\text{m}$ 和 $385\ \mu\text{m}$ 以及 CH_3F 发射的 $496\ \mu\text{m}$ 远红外激光输出有明显的增加,相应的最佳混合气总气压也都增高。

在超辐射远红外激光器中,加入缓冲气体后,可以减轻瓶颈效应,故改善了激光输出性能。但加入缓冲气体后,由于使转动能级弛豫加快,增加了谱线宽度,这是对激光增益不利的。因此,在特定的工作条件下,必然存在一个最佳的活性气体气压与缓冲气体气压之比和总气压。

总之,在光泵远红外激光器中,加入对泵浦光和远红外激光无吸收或吸收甚小、而相对于它的分子量来说又有大的振动热容量的大分子作为缓冲气体,不论对纯工作气体的 D_2O 和 CH_3F 远红外激光器,还是对混合气体 $\text{D}_2\text{O}-\text{CH}_3\text{F}$ 远红外激光器都将是有益的。

参加本实验工作的还有刘秀云、唐桂萍、韩绍平三同志,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 潘承志等:《激光》,1982, 9, No. 5 (May), 317.
- [2] T. Y. Chang; *J. O. S. A.*, 1976, 66, No. 4 (Apr), 362.

- [3] J. R. Tucker; *Opt. Commu.*, 1976, **16**, No. 2 (Feb)209.
[4] R. J. Temkin *et al.*; *Opt. Commu.*, 1976, **16**, No. 2 (Feb), 213.
[5] K. J. Button; *Infrared and Millimeter Waves, Vol. 1, Sources of Radiation*, (New York, Academic Pr., 1979).
[6] 王忠志等;《激光》,1982, **9**, No. 2 (Feb), 81.

Effects of C₅H₁₀, C₆H₁₄, C₇H₁₆ and C₈H₁₈ on pulsed optically pumped D₂O and CH₃F FIR lasers

PAN CHENGZHI AND ZHAO SAIBEI

(Beijing Vacuum Electron Devices Research Institute)

(Received 4 June 1982)

Abstract

The effects of C₅H₁₀, C₆H₁₄, C₇H₁₆ and C₈H₁₈ on the energy outputs of D₂O and CH₃F and their mixture D₂O-CH₃F pulsed optically pumped FIR lasers has been studied experimentally. It is shown that all of them can increase the energy outputs at 66 μm, 114 μm and 385 μm lines from D₂O and at 496 μm line from CH₃F. Especially the net increases at long wavelengths (385 μm and 496 μm) are up to 30~90% by adding these vapours. Authors account such effects for their intense scattering, so more pumping photons trapped by active molecule, and for the large vibrational heat content relative to their molecular weight, so the "bottleneck" effect can be decreased.