

# 脉冲光泵远红外激光器中 泵浦脉冲宽度的作用

韩绍平 秦毅 潘承志 后其国 刘秀云

(北京真空电子器件研究所)

**提要:** 实验研究了光泵浦脉冲宽度对受激喇曼发射型  $D_2O$  激光器和激光发射型  $CH_3F$  496 微米激光器的激光能量和转换效率的影响, 宽的脉冲泵浦将显著改善输出能量和转换效率。

## Effects of pumping pulse width in pulsed optically pumped FIR laser

Han Shaoping, Qin Yi, Pan Chengzhi, Hou Qiguo, Liu Xiuyun

(Beijing Research Institute of Vacuum Electron Devices)

**Abstract:** The effects of pumping pulse width on the energy output and the conversion efficiency of pulsed optically pumped FIR lasers have been studied experimentally. It is shown that both the energy output and the conversion efficiency can be improved notably at  $66\ \mu\text{m}$  and  $385\ \mu\text{m}$  lines from  $D_2O$  and  $496\ \mu\text{m}$  line from  $CH_3F$  by means of wide pulse pumping no matter whether they are stimulated Raman emission or not.

### 一、引言

光泵远红外激光器中, 通常是用一束红外激光(绝大多数情况下, 都是运用可调谐的  $CO_2$  激光)泵浦远红外激光介质, 将其泵浦至某一低振动态, 然后由该低振动态内的转动能级之间的跃迁, 产生远红外激光。这个过程或是通过两次单光子过程——所谓“激光发射型”, 或是通过单次双光子过程——所谓“受激喇曼发射型”实现, 取决于泵浦线与吸收线之间频率失谐量。若失谐量小于 100 兆赫属前者; 失谐量大于 100 兆赫属后者<sup>[1]</sup>。在

光泵远红外激光器中, 由于受到 Manley-Rowe 极限<sup>[2]</sup>的限制, 光转换效率总是相当低的。实践中又由于受到种种因素的影响, 至今离达到此理论极限尚甚远。采用单模可调谐泵浦激光<sup>[3~6]</sup>、改进远红外腔结构和泵浦光入射方式<sup>[6, 7]</sup>、增添缓冲气体<sup>[8, 9]</sup>等技术, 目前最好的结果已达到 Manley-Rowe 极限的 50~70%<sup>[3, 8]</sup>。在脉冲光泵远红外激光器中, 情况就更为复杂一些, 例如泵浦脉冲波形就是一个重要的因素。目前, 脉冲光泵远红外激光器大多数是用可调谐 TEACO<sub>2</sub> 激光器, 它的脉冲输出波形, 一般由一极高幅

收稿日期: 1983年9月2日。

度的窄增益开关尖峰 (FWHM 约 100 毫微秒), 后随一个低幅度的长尾 (约几微秒) 组成。在超辐射结构中, 正是窄的增益开关尖峰能量才对光泵远红外激光器的泵浦有效, 而后部长尾却没有作用<sup>[10]</sup>。但是文献 [6、11] 的作者, 运用无增益开关尖峰的宽 TEA CO<sub>2</sub> 激光脉冲光泵 OCS 和 D<sub>2</sub>O 远红外激光器, 得到了高的输出能量和光转换效率。

我们在实验上详细地研究了 TEACO<sub>2</sub> 激光脉冲波形对受激喇曼发射型的 D<sub>2</sub>O 66 微米 (失谐 1.2 千兆赫) 和 385 微米 (失谐 -320 兆赫) 激光器, 以及激光发射型的 CH<sub>3</sub>F 496 微米 (失谐 -44 兆赫) 激光器的输出能量和转换效率的影响。发现宽脉冲泵浦既提高了激光输出能量又提高了光转换效率, 尤其对激光发射型的 496 微米, 效果更为明显。

## 二、实验装置和方法

本实验用的是一台光栅调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光泵浦的稳定腔 D<sub>2</sub>O 和 CH<sub>3</sub>F 激光器, 如图 1 所示。泵浦激光器可在 70 余条 CO<sub>2</sub> 激光谱线上输出 0.5~8 焦耳/脉冲<sup>[12]</sup>。该激光束经反射镜 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub> 反射转折并聚焦, 进入一根长 2 米、内径 21 毫米的玻璃管。输入端为 R=6 米, 中心带有直径 9 毫米孔的镀金全反射镜 M<sub>4</sub>, 用 NaCl 平镜密封, 孔供 CO<sub>2</sub> 泵光进入; 其输出端为 R=6 米、中心带有直径 8 毫米孔的镀金全反射镜 M<sub>5</sub>,

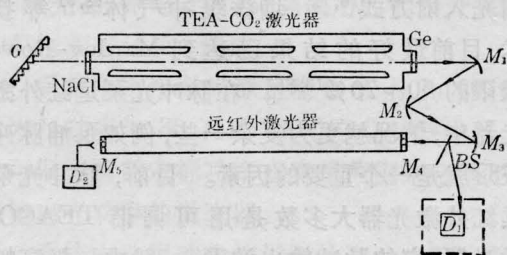


图1 实验装置示意图

用聚四氟乙烯镜密封, 供远红外激光输出。M<sub>4</sub> 和 M<sub>5</sub> 则构成远红外激光腔。

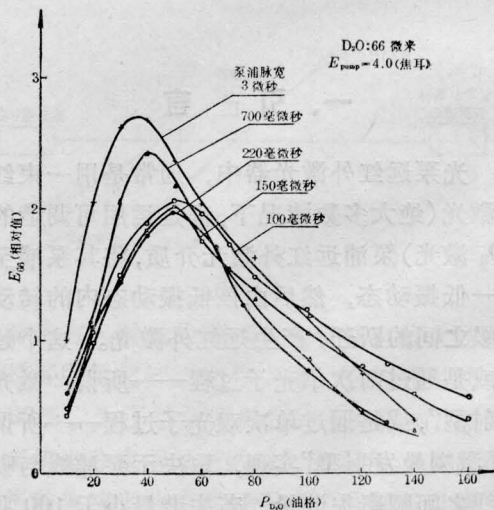
试验时通过改变 TEACO<sub>2</sub> 激光器的气体组份, 来改变其输出脉冲的波形<sup>[13]</sup>。在远红外激光器输入端前插入锗分束器, 分出一部分能量供置于屏蔽室内的光子牵引探测器 and 示波器对此泵浦脉冲波形进行观测和监控。随着分气压比  $P_{CO_2}/(P_{CO_2} + P_{N_2})$  由 1 减小至 0.1, 脉冲宽度可由 ~100 毫微秒增大至 3 微秒。由此确定泵浦脉冲波形对远红外激光器输出能量和转换效率的影响。

## 三、结果和讨论

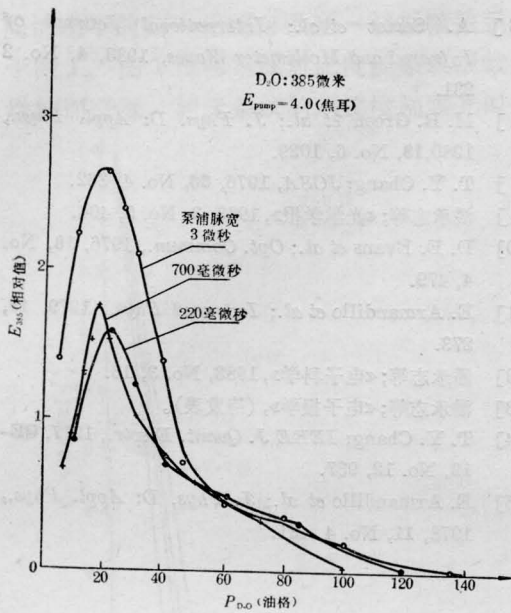
在图 2(a)-(c) 中分别示出了在各种不同的泵浦脉冲宽度 (即不同的  $P_{CO_2}:P_{N_2}:P_{He}$ ) 下, D<sub>2</sub>O 66 微米 (a)、D<sub>2</sub>O 385 微米 (b) 和 CH<sub>3</sub>F 496 微米 (c) 的输出能量随 D<sub>2</sub>O 和 CH<sub>3</sub>F 气压的变化关系。

由这些曲线明显地可看出如下结果:

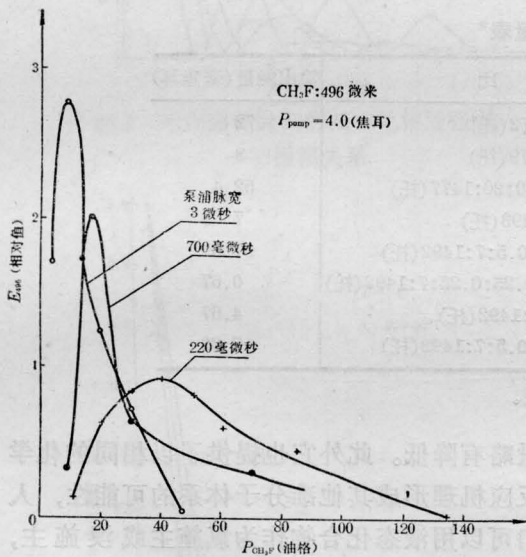
(1) 宽泵浦脉冲宽度使远红外输出能量增大。当泵浦脉宽从 100 毫微秒增至 220 毫微秒时, 输出能量并无明显变化 (见图 2(a), 为简便起见, (b)、(c) 中未画出)。而当泵浦



(a) D<sub>2</sub>O-66 微米



(b) D<sub>2</sub>O—385 微米



(c) CH<sub>3</sub>F—496 微米

图2 远红外输出能量随气压的变化关系  
以 TEACO<sub>2</sub> 激光器中充气比为参量(每 12 油格为 1 托)

脉宽进一步增至 700 毫微秒, 输出开始增大。当泵浦脉宽为 3 微秒时, 远红外输出比窄脉宽时明显增大。

(2) 光转换效率提高。宽脉冲泵浦(3 微秒)与窄脉冲泵浦(~100 毫微秒)相比, 对 D<sub>2</sub>O 66 微米, 转换效率相对提高了 36% (以

窄脉冲泵浦的转换效率为 100%) ; 对 D<sub>2</sub>O 385 微米, 提高了 70%; 对 CH<sub>3</sub>F 496 微米, 则提高了 227%。

(3) 远红外输出能量达到最大时的最佳气压向低气压方向偏移。在本实验范围内, 对 D<sub>2</sub>O 的 66 微米和 385 微米, 最佳气压约偏低 1 托。而对 CH<sub>3</sub>F 496 微米, 则随泵浦脉宽的不断增宽, 最佳气压也不断向低气压方向偏移。

(4) 对于 D<sub>2</sub>O 的 66 微米和 385 微米, 工作气压范围基本上不受泵浦激光脉宽的影响; 但对 CH<sub>3</sub>F 496 微米, 则随脉宽增宽, 工作气压范围明显变窄。

在光泵远红外激光器中, 当光泵很强时, 会呈现各种非线性效应, 其中最主要的就是动态(或交流)斯塔克效应<sup>[44]</sup>。这种现象是由于远红外分子的电偶极跃迁受到泵浦光的强而近共振的单色辐射场的扰动而引起的。此时, 泵浦激光脉冲使远红外物质的激光上能级产生加宽或分裂; 其结果是使远红外激光物质的增益下降, 对于低强度的光泵, 则不存在这种现象。此外, CO<sub>2</sub> 泵浦激光脉冲的起点与光泵远红外激光作用的建立时间存在着时延, 通常约 100~200 毫微秒<sup>[45]</sup>。可知它与本 TEACO<sub>2</sub> 激光器的增益开关尖峰宽度相当或更长些。这样对光泵远红外激光器的性能来说, 窄而强的尖峰泵浦脉冲除易引起能级分裂或加宽使增益下降外, 由于时间过短, 对远红外激光作用的建立与增长不会有好的作用; 与之相反, 低强度的宽泵浦脉冲却既不会引起远红外工作物质的能级分裂或加宽, 造成增益下降, 时间上又恰好与远红外激光作用的建立与增长时间相适合, 能量被远红外工作物质所充分利用, 故可提高远红外激光输出能量和光转换效率。综上所述, 可知在低气压下运用低强度的宽泵浦脉冲泵浦比在高气压下运用高强度的窄泵浦脉冲泵浦, 能得到更大的远红外激光输出和高的光转换效率。正如本实验所证实的, 对于激光

发射型的  $\text{CH}_3\text{F}$  496 微米跃迁, 其效果尤为明显; 对于受激喇曼发射型的  $\text{D}_2\text{O}$  66 微米和 385 微米跃迁, 亦有类似的效应。

### 参 考 文 献

[1] D. T. Hodges; *Infrared Phys.*, 1978, **18**, No. 5~6, 375.  
 [2] T. A. Detemple; "Pulsed optically pumped far infrared lasers", in "Infrared and Millimeter Waves Vol. 1, Sources of Radiation", Edited by K. J. Button, Chapter 3(1979).  
 [3] K. Lipton et al.; *Opt. Commun.*, 1979, **21**, No. 1, 42.  
 [4] P. Mathien et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, No. 6, 465.  
 [5] P. Woskoboinikow et al.; *J. Appl. Phys.*, 1979, **50**, No. 2, 1125.

[6] A. Semet et al.; *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 1983, **4**, No. 2 231.  
 [7] M. R. Green et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1980, **13**, No. 6, 1029.  
 [8] T. Y. Chang; *JOSA*, 1976, **66**, No. 4, 362.  
 [9] 潘承志等;《光学学报》, 1983, **3**, No. 5, 404.  
 [10] D. E. Evans et al.; *Opt. Commun.*, 1976, **18**, No. 4, 479.  
 [11] E. Armandillo et al.; *Infrared Phys.*, 1979, **19**, 273.  
 [12] 潘承志等;《电子科学》, 1983, No. 3, 13.  
 [13] 潘承志等;《电子报学》, (待发表).  
 [14] T. Y. Chang; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, No. 12, 937.  
 [15] E. Armandillo et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1978, **11**, No. 4, 421.

(上接第 395 页)

表 1 输出能量表\*

氯化物	添加物	气 分 比	输出能量(毫焦耳)
HCl		HCl: Xe: Ne=3.5:25:1472(托)	72
CCl <sub>4</sub>		CCl <sub>4</sub> : Xe: Ne=1.0:20:1479(托)	8
CCl <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CCl <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> : Xe: Ne=1.0:2.0:20:1477(托)	52.4
SiCl <sub>4</sub>		SiCl <sub>4</sub> : Xe: Ne=0.25:7:1493(托)	7.33
SiCl <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	SiCl <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> : Xe: Ne=0.25:0.5:7:1492(托)	57.3
SiCl <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub> OH	SiCl <sub>4</sub> : CH <sub>2</sub> OH: Xe: Ne=0.25:0.25:7:1492(托)	0.67
CHCl <sub>3</sub>		CHCl <sub>3</sub> : Xe: Ne=1.0:7.0:1492(托)	4.67
CHCl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	CHCl <sub>3</sub> : H <sub>2</sub> : Xe: Ne=0.5:0.5:7:1492(托)	7.33

\* 输出能量未计入因透镜的反射等引起的损耗。

实验结束时, 在放电室内发现有残留的白色粉末状硅, 更证实了我们的推测。

此外, 还以  $\text{CHCl}_3$  作为氯施主进行了实验, 总的结果见表 1。

上述实验结果表明: 1. 当混合气体中含有  $\text{H}_2$  时, 达到稳定输出的时间远小于不含  $\text{H}_2$  的情况。这是因为在均匀放电条件下,  $\text{H}_2$  首先分解成氢原子团  $\text{H}^*$ , 然后与  $\text{CCl}_4$  或  $\text{SiCl}_4$  有机合成  $\text{HCl}$ , 并生成  $\text{XeCl}^*$ ; 2. 以较为廉价、较易获得的  $\text{CCl}_4$  或  $\text{SiCl}_4$  等含氯化物加  $\text{H}_2$  取代  $\text{HCl}$  作为  $\text{XeCl}$  准分子激光器的氯施主是完全可行的, 尽管其输出能

量略有降低。此外它也提供了以相同的化学反应机理形成其他准分子体系的可能性, 人们可以用液态化合物作为氯施主或溴施主, 去开拓  $\text{KrCl}$ 、 $\text{XeBr}$  等新的领域。

### 参 考 文 献

[1] J. J. Ewing et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **27**, 355.  
 [2] R. Burnham; *Opt. Commun.*, 1978, **24**, 161.  
 [3] К. А. Кудривцев; *Кван. электр.*, 1977, **4**, 231.  
 [4] R. Salimbeni et al.; *Opt. Commun.*, 1981, **39**, 75  
 [5] Д. Н. Андреев; "Органический синтез в электрических разрядах", Издательство АН СССР, 1953.