

## 以液体作氯施主的 XeCl 激光器

张大可 张正线 傅淑芬 陈建文

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文报道以  $\text{CCl}_4$  和  $\text{SiCl}_4$  作氯施主的 XeCl 激光器的实验结果以及  $\text{H}_2$  对输出特性的影响, 输出能量可达以 HCl 为氯施主的 80%。讨论了该体系的形成动力学。

## XeCl excimer laser using liquid as chlorine donor

Zhang Dake, Zhang Zhengxian, Fu Shufen, Chen Jianwen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** This paper reports the experimental results of a XeCl laser using  $\text{CCl}_4$  or  $\text{SiCl}_4$  as chlorine donor and the effect of  $\text{H}_2$  on the output performance. The formation kinetics of these system is discussed for the first time. The maximum output energy is as much as 80% of that using HCl as chlorine donor.

## 一、引言

迄今已报道用作快放电型 XeCl 准分子激光器氯施主的化合物有:  $\text{Cl}_2$ <sup>[1]</sup>、 $\text{CF}_3\text{Cl}$ 、 $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}$ 、 $\text{CCl}_2\text{F}_2$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{HCl}$ <sup>[2]</sup>、 $\text{BCl}_3$ <sup>[3]</sup>、 $\text{SiCl}_4$ <sup>[4]</sup> 等。尽管许多文献报道了采用液态氯化物作氯施主, 但很少涉及到 XeCl 的形成动力学。本实验采用  $\text{CCl}_4$ 、 $\text{SiCl}_4$  作氯施主, 在  $\text{CCl}_4$  ( $\text{SiCl}_4$ )/Xe/Ne 体系中引入  $\text{H}_2$ , 并研究了上述体系中的形成动力学。

## 二、实验装置

采用 Blumlein 快放电电路和火花隙紫外预电离。用环氧筒制成的放电室长 100 厘

米, 内径为 8 厘米。一对长 80 厘米的铜制电极用螺栓从外部固定在筒壁上, 并直接与平板电容相联接。电极之间的间距为 2 厘米, 激活区体积约为 160 厘米<sup>3</sup>。预电离火花板由不锈钢制成, 共两排, 每排有 31 个间距 1 毫米的空隙, 为了避免表面放电, 火花板做成倒凸字型。火花板所在平面与电极平面正交。放电室前后两端分别装有反射率为 8% 的石英平镜和镀膜全反 (3080 Å) 平镜, 构成封闭式谐振腔。

用 AC15/3 直流辐射检流计测量激光输出能量, 接收炭斗的口径为 16 毫米。由于高功率 XeCl 激光器对腔镜的严重损坏, 我们将激光输出能量始终限制在 100 毫焦耳以下, 所以文中作图一律采用相对单位。

收稿日期: 1983 年 8 月 12 日。

### 三、实验结果

首先测量了以  $\text{HCl}$  作为氯施主时的激光输出能量。在气体混合比为:  $\text{HCl}:\text{Xe}:\text{Ne}=3.5\text{托}:25\text{托}:1472\text{托}$ , 预电离电压为 31 千伏, 主放电电压为 20 千伏的条件下, 测得最大输出能量为 72 毫焦耳。

然后以  $\text{CCl}_4$  为氯施主, 测量激光输出能量。实验分以下两个步骤: 第一, 保持  $\text{CCl}_4$ 、 $\text{Xe}$  和  $\text{Ne}$  的气分比不变, 逐次改变  $\text{H}_2$  的气压, 观察输出能量的变化, 图 1 给出了变化曲线。第二, 保持  $\text{H}_2$ 、 $\text{Xe}$  和  $\text{Ne}$  的气分比不变, 逐次改变  $\text{CCl}_4$  的气压, 观察输出能量的变化, 图 2 给出了在相同的激励条件下测得的变化曲线。

根据上述两次测量结果, 我们在最佳气体混合比条件下, 测量了输出能量随激励电

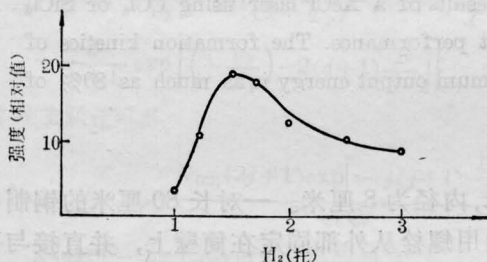


图1 激光输出能量随  $\text{H}_2$  密度的变化  
 $\text{CCl}_4:\text{Xe}:\text{Ne}=15:20:2\times 750$  托; 预电离电压 28 千伏; 主放电电压 28 千伏

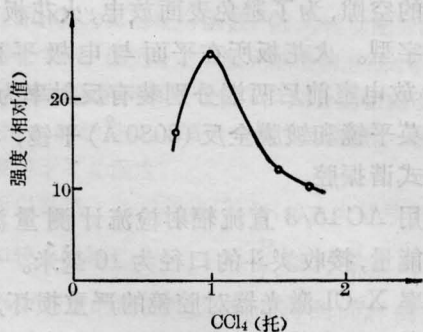


图2 激光输出能量随  $\text{CCl}_4$  密度的变化  
 $\text{H}_2:\text{Xe}:\text{Ne}=2.0:20:2\times 750$  托  
预电离电压 28 千伏; 主放电电压 28 千伏

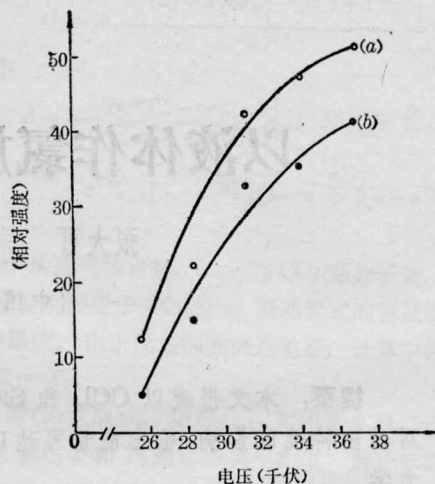


图3 激光输出能量随激励电压的变化  
 $\text{CCl}_4:\text{H}_2:\text{Xe}:\text{Ne}=1.0:2.0:20:2\times 750$  托  
(a) 预电离电压为 28 千伏;  
(b) 预电离电压为 25 千伏

压的变化, 其结果见图 3。

在以  $\text{SiCl}_4$  为氯施主时的实验步骤与  $\text{CCl}_4$  相同, 但有两点稍异: 一是激励条件不同, 原因是如果保持与  $\text{CCl}_4$  相同的激励条件, 则在大多数情况下无激光输出; 二是混合气体中  $\text{Xe}$  的比例不同, 这是因为我们发现在一定范围内,  $\text{Xe}$  的密度对激光输出能量的影响不大。

图 4 给出当  $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{Xe}$  和  $\text{Ne}$  的密度保持恒定时, 激光输出能量随  $\text{H}_2$  密度变化的曲线。图 5 则给出能量随  $\text{SiCl}_4$  密度变化的曲线。

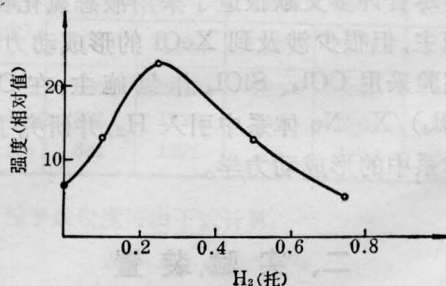


图4 激光输出能量随  $\text{H}_2$  密度的变化  
 $\text{SiCl}_4:\text{Xe}:\text{Ne}=0.5:7.0:2\times 750$  托  
预电离电压 31 千伏; 主放电电压 17 千伏

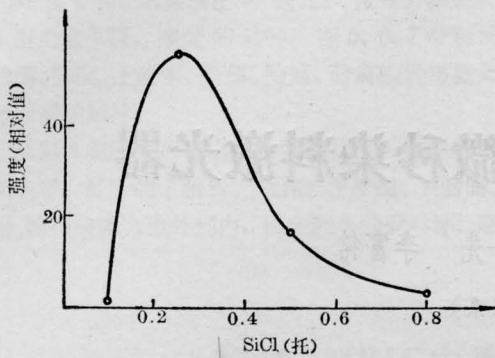
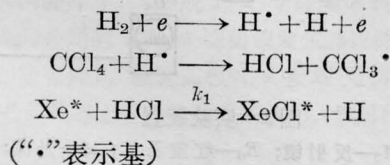


图5 激光输出能量随 SiCl<sub>4</sub> 密度的变化

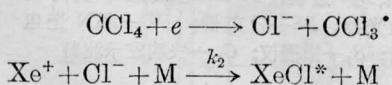
当气体混合比为: SiCl<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>:Xe:Ne=0.25 托:0.5 托:7 托:1492 托, 预电离电压为 31 千伏, 主放电电压为 28 千伏时, 测得最大输出能量约为 HCl 的 0.8 倍。

#### 四、讨 论

在实验中观察到, 在以 HCl 作为氯施主时, 从第一次放电开始即有激光输出, 并在最初几个脉冲之后, 其输出能量即达到最大值。当以 CCl<sub>4</sub> 作为氯施主时, 在开始放电的一段时间内并无激射现象。如果混合气体中含有 H<sub>2</sub>, 一般在放电 100 次左右就有比较稳定的输出, 如果不含有 H<sub>2</sub>, 则要在约 1000 次放电之后, 才会有稳定的激光辐射, 且其能量远小于含有 H<sub>2</sub> 时的激光输出。这一结果表明 H<sub>2</sub> 在形成准分子 XeCl\* 的过程中起了重要的作用。这一反应过程可以表示为<sup>[5]</sup>:

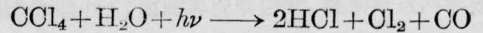


而不含 H<sub>2</sub> 时, 其化学反应过程很可能是:



由于反应速率  $k_1$  远大于  $k_2$ , 这就说明为什么在含有 H<sub>2</sub> 时可以较快地形成稳定的激射, 并且可以获得较高的激光输出能量。文

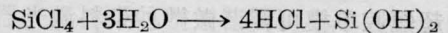
献[4]认为在以 CCl<sub>4</sub> 作为氯施主时, 主要是通过水化反应(hydrolysis)产生 HCl, 然后再形成 XeCl\*, 亦即:



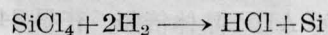
由于我们在每次充气之前都保证了放电室内有较高的真空度(一般达到  $4 \times 10^{-2}$  毫米水银柱), 所以这一反应过程发生的可能性是比较小的, 特别是同 H<sub>2</sub> 的还原反应相比更是如此。

在以 SiCl<sub>4</sub> 作为氯施主时所观察到的现象与 CCl<sub>4</sub> 的相类似, 但达到稳定的激光输出所需的时间更长。在含有 H<sub>2</sub> 时, 一般至少需要放电 200 次左右才开始有激射, 在大约 500 个脉冲之后, 输出方始趋于稳定。在不含有 H<sub>2</sub> 时还要等到 1000 多次放电之后, 才会有比较稳定的激光输出, 其能量不仅小于含 H<sub>2</sub> 时的输出能量, 也比以 CCl<sub>4</sub> 为氯施主时的能量小。

实际上, SiCl<sub>4</sub> 的化学活动性远大于 CCl<sub>4</sub>。如果将液态的 SiCl<sub>4</sub> 暴露在空气中, 立刻就会形成浓度很高的酸雾, 这就是水化反应:



而对于液态的 CCl<sub>4</sub>, 则无此种现象发生。因此, 如果在以 CCl<sub>4</sub> 或 SiCl<sub>4</sub> 作为氯施主时, 主要是通过水化反应形成 XeCl\* 的话, 那么, 在采用 SiCl<sub>4</sub> 时应比采用 CCl<sub>4</sub> 更快地获得稳定的激光输出, 而且, 在不含有 H<sub>2</sub> 时, 前者的输出能量也必然大于后者, 而不是相反。为了更清楚地说明问题, 我们还在 SiCl<sub>4</sub> 蒸气中掺入浓度为 95% 的乙醇蒸气, 结果所获得的输出能量极低(见表 1)。这样, 就进一步排除了以水化反应作为主要反应过程的可能性。基于这样的实验事实, 我们认为在以 SiCl<sub>4</sub> 为氯施主时, 其主要的反应通道仍然是 H<sub>2</sub> 的还原反应:



(下转第 406 页)



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.