

放电引发脉冲氧碘化学激光器的研究*

张荣耀 陈方 宋雪琴 许庆洲 桓长清 庄琦 张存浩

(中国科学院大连化学物理研究所)

提要: 报道首次利用放电引发方法实现脉冲氧碘化学激光器的研究结果。证实低能电子也能很有效地引发氧碘激光反应。在 $O_2(^1D)-CH_3I-N_2$ 体系下激光能量输出达130mJ, 电效率比光解方法高350倍。

A pulsed chemical oxygen-iodine laser initiated by electrical discharge

Zhang Rongyao, Chen Fang, Song Xueqin, Xu Qingzhou

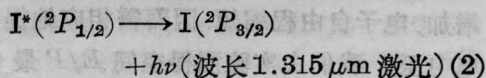
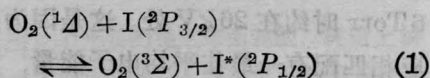
Huan Changqing, Zhuang Qi, Zhang Cunhao

(Dalian Institute of Chemical Physics, Academia Sinica, Dalian)

Abstract: This paper demonstrates for the first time the feasibility of an electrically initiated pulsed oxygen-iodine laser which can be initiated efficiently by low energy electrons. An $O_2(^1D)-CH_3I-N_2$ mixture has been made to lase by electrical initiation with an output energy of 130mJ. The electrical efficiency is 350 times higher than that obtained with photo-initiation.

一、引言

氧碘化学激光器是目前研究得较多的一种高能化学激光器, 它主要依靠氧碘共振传能反应进行连续波运转的^[1,2]:



近年又开始对以脉冲方式运转的氧碘激光感兴趣, 并用各种碘化物作为基态碘原子 $I(^2P_{3/2})$ 的来源, 代替过去经常使用的碘分子, 以改进激光器的工作性能^[2~4]。但这些研究都是采用光分解碘化物的方法, 这种方法的一大缺点是电效率低。本文探索直接用

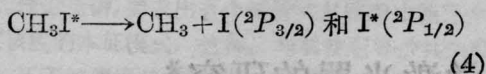
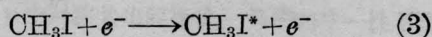
放电分解碘化物的新方法, 并研制成第一台用放电引发的脉冲氧碘化学激光器。比起旧的光解方法, 其电效率大幅度提高, 激光器的引发装置体积大为缩小。

我们以 $O_2(^1D)-CH_3I-N_2$ 激光体系作为本文研究对象。要想用放电引发方法成功地进行该体系的激光反应, 必须做到在电负性较强的 CH_3I 分子参与下能实现均匀放电, 而且要控制住激光器内电子的能量, 使之既能选择断裂 CH_3I 分子的 $O-I$ 化学键, 以取得激光反应所需要的碘原子, 又要不破坏 CH_3 化学基团和 $O_2(^1D)$ 的分子结构。否则反应将生成各种有害的分子碎片, 会对上述氧碘传能反应产生不良负反应和对激发态

收稿日期: 1986年12月30日。

* 国家自然科学基金资助项目。

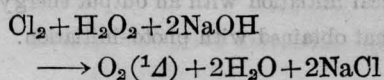
$I^*(^2P_{1/2})$ 产生猝灭。反应过程是低能电子与 CH_3I 发生非弹性碰撞,并按以下机理进行



CH_3I^* 为 CH_3I 的预解离激发态。然后,生成的碘原子再按反应(1)和(2)进行共振传能和激射。

二、实验装置

放电引发的脉冲氧碘化学激光装置与文献[4]报道的类似,但激光器系硬质玻璃管制成,激光器内同轴安装一对圆筒形铝电极,与 $0.01 \mu F$ 电容器串接,两者用火花隙隔离,并由电控系统同步操作。放电电压18至30kV,激活体积 600 cm^3 。玻璃管两端装有内腔结构的光腔,腔镜之一为曲率半径5m的全反射镜,另一是对波长 $1.315 \mu m$ 的透过率为2.5%的平面镜。 $O_2(^1\Delta)$ 由化学发生器按下列反应产生



$O_2(^1\Delta)$ 绝对浓度采用辐射量热法标定^[5],并用干冰冷却的PbS元件监测其相对浓度变化。用激光能量计测量其激光输出。激光波形用国产 $2CU_2$ 光电二极管接收, Tektronix 466示波器照相记录。系统压力用 Datame-trics 570 电容压力计测量。所使用的 CH_3I 纯度为98.5%。含 $O_2(^1\Delta)$ 的氧气流和 N_2 以1:3的比例混合,轴向流过激光器,同时加入 CH_3I 。并将电容器的电能通过火花隙瞬间加于激光器的两电极上,在两电极之间形成均匀辉光放电。所产生的电子使 CH_3I 瞬间分解并获得大量碘原子,在激光器内与 $O_2(^1\Delta)$ 进行快速氧碘共振传能反应,达到激发态 $I^*(^2P_{1/2})$ 的粒子数反转。激射后处于下能态为基态的碘原子,又继续参加氧碘共振传能反应,形成反应链的循环,直至反应自终

止为止。以脉冲方式输出激光。

三、实验结果与讨论

3.1 放电参数与激光能量的关系

图1为 $O_2(^1\Delta)-CH_3I-N_2$ 体系在放电引发的脉冲氧碘激光波形。空白对照试验证明,当体系的 $O_2(^1\Delta)$ 完全用普通氧置换时,在同样放电引发条件下观察不到激光输出。反之,当 $O_2(^1\Delta)$ 加入后则立即大幅度地输出激光能量(其波长为 $1.315 \mu m$,若此时故意把光腔失调则激光立即消失),并且随 $O_2(^1\Delta)$ 分压的提高,激光能量也成正比提高。证明 $O_2(^1\Delta)$ 的能量对激光输出起着主要贡献。

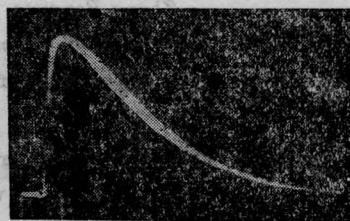


图1 $O_2(^1\Delta)-CH_3I-N_2$ 体系在放电引发的脉冲氧碘激光波形。横轴: 时标($10 \mu s$ /每大格),纵轴: 激光强度

图2为放电引发电压与激光能量输出的关系。由图看到,随着放电引发电压的变化,激光能量输出有一极大值,并且极大值随体系工作气压而变化。工作气压4Torr时极大值约在19kV处,5Torr时约在23kV处,而6Torr时约在26kV处。这是因为与激光反应相匹配有一最佳平均电子能量,随着气压增加,电子自由程缩短,因而需相应地提高放电电压。我们由实验测得空间 E/P 最佳值(E 为激活区电场强度, P 为工作气压),与按 CH_3I 的O—I解离键能计算得的 E/P 理论值非常接近,也证实了此点。此外,在同一放电装置条件下,工作电压过高必然导致激光器内电流密度 J_0 过高。而电流密度与电子浓度 n_0 存在如下关系:

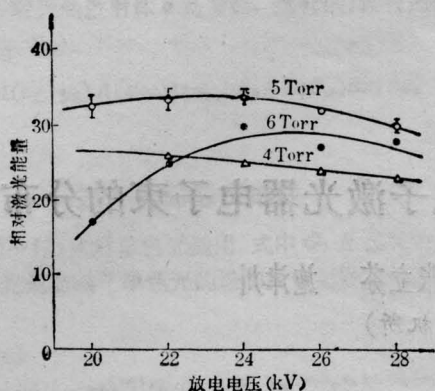


图2 不同气压下放电电压与激光能量的关系
(试验时 $\text{CH}_3\text{I}/(\text{O}_2(^1\Delta)+\text{O}_2)$ 比值保持不变)

$$n_e = \frac{J_0}{e} \sqrt{\frac{2\pi m_e}{kT_e}}$$

m_e 为电子质量, T_e 为电子温度, e 为电子电荷, k 为 Boltzmann 常数。电子浓度和电子能量过高对氧碘激光反应不一定有利, 因为容易发生多级激发解离, 使 CH_3I 和 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 分子分裂为各种有害碎片。

图2还表明, 现有的体系组成, 工作气压5 Torr 时激光能量输出最高。这是因为低于5 Torr 时, 随着工作气压提高, $\text{O}_2(^1\Delta)$ 分压也不断增加, 因而激光能量输出随之增加。随着工作气压再继续提高, $\text{O}_2(^1\Delta)$ % 浓度不断降低(实验测得工作气压由5 Torr 提高到6 Torr, $\text{O}_2(^1\Delta)$ % 浓度可降低4% 单位之多, 已相当可观), 同时使激发态 $\text{I}^*(^2P_{1/2})$ 猝灭的各种去激活过程也不断加速。

3.2 放电引发与光解引发的效率对比

图3为放电和光解两种不同引发方法对激光器效率的比较。光解引发装置见文献[4]。比较时两者工作电压都为22 kV, 总气压和 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 分压也都基本相同而且保持不变。从图上可看到, 随 CH_3I 分压的变化, 两者激光输出能量都出现极大值, 且数值接近相同。但放电引发是在 CH_3I 分压为1.0 Torr 时出现, 而光解引发在1.8 Torr 时出现; 放电引发时, 激光能量随 CH_3I 分压急剧增加到极大值, 而光解引发时激光能量是随 CH_3I

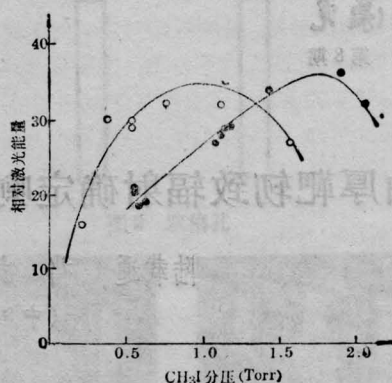


图3 放电和光解两种引发方法的比较
(试验时工作电压、总气压和 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 分压保持不变。○—放电引发, ●—光解引发)

分压较缓慢地增加到极大值。也就是说接近同样激光能量输出时, 放电引发所需 CH_3I 的量比光解引发几乎少一半。更为突出的是, 此时放电引发所需电容量仅 $0.01 \mu\text{F}$, 而光解引发却要 $3.5 \mu\text{F}$; 电储能放电引发仅需 2.4J , 而光解引发需 850J 。以上结果说明利用低能电子能更有效地引发氧碘激光反应, 放电引发的电效率要比光解引发高得多, 可提高约350倍, 而且激光器的引发装置体积大为缩小。其原因在于光解引发时只能利用紫外光, 而光子能量分布又远不如电子能量分布集中。在我们现有激光器规模下, 放电引发电压22 kV, $\text{O}_2(^1\Delta)$ — CH_3I — N_2 体系的激光能量输出可达 130mJ , $\text{O}_2(^1\Delta)$ 能量提取效率为10%。

参加本实验工作的还有国保川、邵明君、杨何平、沈惠华、刘惠芳、王宗娟等同志。

参 考 文 献

- 1 Gas Flow and Chemical Lasers, edited by Kaye A S, Bristol and Boston: Adam Hilger Ltd, 1984: 137~206
- 2 Young A T, et al. *J. Chem Phys.*, 1983; **78**: 2317
- 3 Вагин Н П, Крюков П П. *Квант. электр.*, 1986; **13**(5): 1068
- 4 张荣耀, 陈方 et al. *中国激光*, 1987; **14**(8): 460
- 5 Fisk G A, et al. *Chem. Phys. Lett.*, 1981; **79**: 331
- 宋雪琴 et al. *分析仪器*, 1987; (4): 1