

文章编号: 1001-4322(2006)05-0746-03

全气相化学激光体系的直流放电研究*

于海军, 唐书凯, 汪 健, 闵详德, 多丽萍, 金玉奇

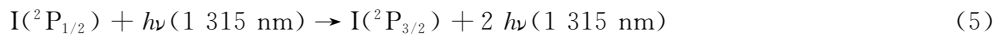
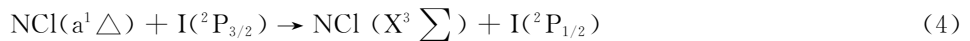
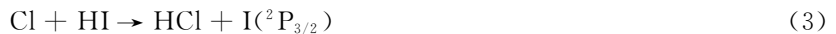
(中国科学院 大连化学物理研究所, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 为了提高化学激光体系(AGIL)中 F 原子的产率, 采用直流放电引发方式, 对棒式电极的放电特性进行了研究。在对 NF_3/He 混合气体进行解离时, 通过选择不同平衡电阻, 得到了 3 kW 左右的放电注入功率。用光谱分析仪对 F 原子产率进行了测量。通过拟合计算可得: 一个 NF_3 分子能够解离出 1.3~1.5 个 F 原子。

关键词: 全气相化学激光(AGIL); 直流放电; F 原子产率

中图分类号: TN248.5 文献标识码: A

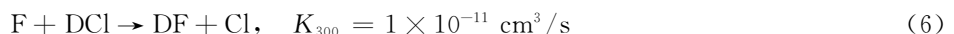
全气相化学激光器^[1-2]的反应式中的两种重要物质 $\text{NCl}(a^1\Delta)$ 与 $\text{I}(^2\text{P}_{3/2})$ 之间存在近共振传能反应^[3]。对于两者的生成, 可以采用多种方法和途径, 本实验系统经历的反应式为



从上面的反应式我们可以看出, 氯原子在整个反应中起到非常重要的作用。氯原子的来源是由直流放电所产生的氟原子和 DCl/HCl 反应而来。因而如何提高 F 原子的流量, 从而提高 Cl 原子的流量是整个体系的一个核心部分。为了提高 F 原子和 Cl 原子的流量, 采用了许多方法^[1,4]。本文采用直流放电引发的方式, 对其放电特性进行了研究, 目的是得到可观的 F 原子流量。

1 实验部分

实验装置主要有放电管、直流电源、平衡电阻、反应器组成。其中直流放电部分如图 1 所示。放电管由石英玻璃组成, 长度为 1 m, 内径为 $\phi 21\ \text{mm}$ 。用不锈钢做成的棒式阳极和环状阴极分别加在放电管两端。并且分别对它们进行通水冷却。为了放电稳定和增加注入功率, 在放电管和阳极之间加上平衡电阻 R, 电阻由 64 个阻值为 25 k Ω 、功率为 150 W 的陶瓷电阻组成。实验中根据需要可以对电阻值进行调整。同时为了减少热量对电阻的损害, 把电阻浸泡在变压器油中。为了得到电极的伏安特性, 用直流电流表 A 和数字高压表 V(FRC-50, 武汉科泰电气设备有限公司生产)对电极参数进行测量。F 原子源 NF_3 (99.99%) 和 He (99.999%, 大连光明气体研究所提供) 充分混合后由靠近阳极端加入到放电管, 在高压直流电源(10 kV, 3 A, 扬州双鸿电子有限公司提供)的作用下产生 F 原子, F 原子在阴极末端与注入的 DCl 通过下面的反应方程式产生实验所需的 Cl 原子^[5]。



对于 F 原子产率的测量, 各实验室采用的方法不同^[6-7], 我们用 H_2 做滴定剂, HN_3 做指示剂对 530 nm

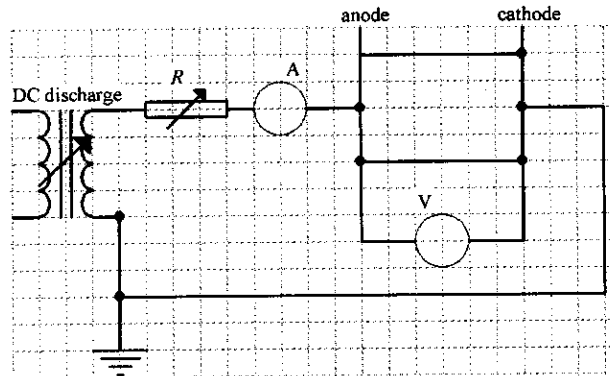


Fig. 1 Schematic of DC discharge part

图 1 直流放电部分框图

* 收稿日期: 2005-05-19; 修订日期: 2006-04-15

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 于海军(1973—), 男, 工程师, 研究方向为短波长化学激光; yhj@dicp.ac.cn.

($\text{NF}(b^1\Sigma^+ - X^3\Sigma^-)$)^[8]进行滴定,用光谱分析仪(CCD)进行测量。

2 实验结果和讨论

2.1 系统的伏安特性工作区

AGIL 的伏安特性和气体组分有关,实验中我们分别采用气体体积流量为 NF_3 :2.5 L/min, He: 0 L/min; NF_3 :2.5 L/min, He: 1 L/min; NF_3 :2.5 L/min, He: 3 L/min 对放电的伏安特性进行了放电实验,图 2 是放电稳定时候的伏安特性曲线。从伏安特性曲线可以看出,几种条件下电压随着电流的增大而减小,系统工作在负阻区。在这个放电区域,若想稳定放电,必须加一平衡电阻。

2.2 不同平衡电阻对注入功率的影响

平衡电阻的选择对注入功率的大小有影响,而注入功率的大小直接决定 NF_3 的解离率。在美国的 AGIL 系统实验中注入功率为 1.75 kW^[1]。对平衡电阻的选择,我们也做了大量的实验。我们选择平衡电阻为 3.2, 2.096, 1.56, 1.0, 0.77 k Ω , 实验中我们发现对于本实验的直流放电系统,在平衡电阻小于 1 k Ω 时候,系统放电电流过大,对电极和电阻损害较大,并且放电不稳定。而对于平衡电阻大于 3 k Ω 时,系统注入功率过小。如图 3 所示,我们选择电源在恒流工作状态,通过改变电流值,得到了几种平衡电阻情况下的注入功率曲线。从曲线中发现对于本实验($\text{NF}_3 + \text{He}$)的等离子放电系统,在特定流量,并且想得到较高的注入功率的情况下,平衡电阻存在一个很小的范围 $1 \text{ k}\Omega < R < 2.5 \text{ k}\Omega$ 。

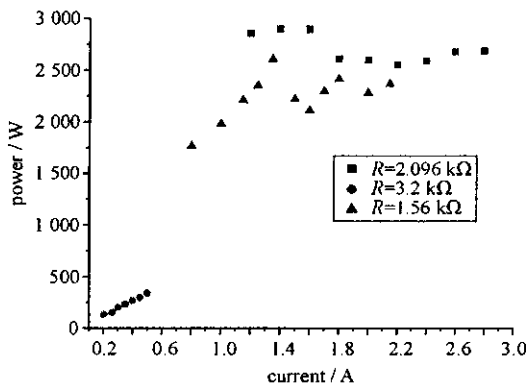


Fig. 3 Power curves for different balance resistances

图 3 不同平衡电阻情况下的功率曲线

2.3 F 原子的滴定曲线

对于 NF_3 的解离量,我们用 H_2 做滴定剂, HN_3 做指示剂对 530 nm($\text{NF}(b^1\Sigma^+ - X^3\Sigma^-)$)信号进行滴定,用光谱分析仪(CCD)进行测量,随着 H_2 流量的增加,由于 F 原子被 H_2 消耗而使 530 nm 信号强度不断降低,当 F 与 H_2 相当时,530 nm 的辐射信号降低到一个相对稳定值。图 4 是在不同 NF_3 和 He 的混合比例情况下的滴定曲线。实验中我们采用不锈钢棒做阳极,不锈钢圆环做阴极,电极间距为 400 mm,匹配电阻 2.096 k Ω 。通过拟合计算得到一个 NF_3 分子可以产生 1.3~1.5 个 F 原子的结果。同时在实验中我们发现,同 NF_3 混合的 He 流量的大小,也对 F 原子的产率有一定的影响。过高的 He 流量虽然能使放电稳定,但是会使 F 原子的产率下降。相反,太低的 He 会使放电不稳定。对于 AGIL 系统而言,F 原子产率直接影响后面的工作,所以采取各种方法进一步提高其产量,将是我们工作的一个重点。

3 结论

为了提高化学激光新体系 AGIL 中 F 原子的产率,本实验采用直流放电引发方式,对棒式电极的放电特性进行了研究,通过选择不同平衡电阻,找到了本系统的平衡电阻范围 $1 \text{ k}\Omega < R < 3 \text{ k}\Omega$,在此范围内得到了 3 kW 左右的放电注入功率。同时一个 NF_3 分子能够解离出 1.3~1.5 个 F 原子。

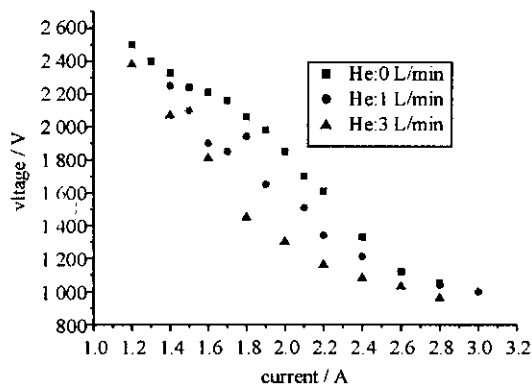


Fig. 2 V-I characteristics of the stable DC discharge at different NF_3 and He mixture

图 2 不同的 NF_3 和 He 混合气体的直流放电伏安特性曲线

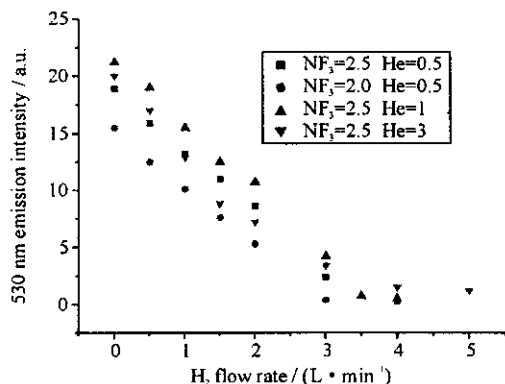


Fig. 4 Titration curves of F atom

图 4 氟原子滴定曲线

参考文献:

- [1] Henshaw T L, Manke II G C, Madden T J, et al. A new energy transfer chemical laser at 1.315 μm [J]. *Chem Phys Lett*, 2000, **325**:537-544.
- [2] Manke II G C, Cooper C B, Dass S C, et al. A multiwatt all gas-phase iodine laser(AGIL)[J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2003, **39**:8.
- [3] Ray A J, Coombe R D. Energy transfer from $\text{NCl}(a^1\Delta)$ to iodine atoms[J]. *J Phys*, 1993, **97**:3475.
- [4] 唐书凯, 于海军, 闵详德, 等. $\text{NCl}(a^1\Delta)/\text{I}(^2\text{P}_{3/2})$ 传能体系的实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 2003, **15**(6):529-532. (Tang S K, Yu H J, Min X D, et al. Experiment study on $\text{NCl}(a^1\Delta)/\text{I}(^2\text{P}_{3/2})$ system. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, **15**(6):529-532)
- [5] Henshaw T L, Madden T J, Herbelin J M, et al. Measurement of gain on the 1.315 μm transition of atomic iodine as produced from the $\text{NCl}(a^1\Delta)+\text{I}(^2\text{P}_{3/2})$ energy transfer reaction[C]//Proc of SPIE. 1999, **3612**:147-156.
- [6] Manke II G C, Henshaw T L. Characterizing fluorine and chlorine atom flow rates using iodine atom spectrometry[C]//AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference, 2002.
- [7] 多丽萍, 唐书凯, 李健, 等. 微波放电解离氯分子解离效率的测量[J]. *强激光与粒子束*, 2003, **15**(4):335-338. (Duo L P, Tang S K, Li J, et al. Measurements of dissociation efficiency of molecular Chlorine through microwave discharge. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, **15**(4):335-338)
- [8] Herbelin J M, Henshaw T L, Rafferty B D, et al. The measurement of gain on the 1.315 μm transition of atomic iodine in a subsonic flow of chemically generated $\text{NCl}(a^1\Delta)$ [J]. *Chem Phys Lett*, 1999, **299**:583-588.

DC discharge for the all gas-phase iodine laser

YU Hai-jun, TANG Shu-kai, WANG Jian, MIN Xiang-de, DUO Li-ping, JIN Yu-qi
(Short Wavelength Chemical Laser Laboratory, Dalian Institute of Chemical Physics,
Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 110, Dalian 116023, China)

Abstract: A DC discharge method is introduced to improve the production of F atom for all gas-phase iodine laser(AGIL). Characteristics of the DC discharge are studied for the usage of cylinder electrode. About 3 kW input power is obtained when dissociating the mixture of NF_3 in He by different balance resistance. Production of F atom is measured with spectrometer(CCD) and the production of F atom is about 1.3~1.5 with one NF_3 molecule.

Key words: All gas-phase iodine laser(AGIL); DC discharge; Production of F atom