

doi: 10.3788/lop47.051404

# 电激励连续波 HF/DF 激光器放电参数的优化

文 备 李文煜 王红岩 李 强 华卫红 张煊喆 陶承刚 陈景春 张嘉超

(国防科技大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要** 放电管作为电激励连续波 HF/DF 激光器的 F 原子发生器, 在整个激光器系统中占有重要地位。目前流行采用的是高压直流电源加镇流电阻的放电模式, 典型电参数为接近 10 kV 高电压、百毫安量级的低电流。传统理论和实验结果均认为: 放电管 F 原子产率与放电管注入功率成正比, 从而激光器输出功率也应与之成正比。引入不同阻值的镇流电阻, 发现对于相同的注入功率, 低电压、大电流模式比高电压、小电流模式更容易获得高的功率输出。

**关键词** HF/DF 激光器; 放电管; 放电参数; 注入功率

中图分类号 TN248; O354 OCIS 140.1550 140.3460 文献标识码 A

## Optimization of Discharge Parameters on Discharge Driven CW HF/DF Chemical Laser

Wen Bei Li Wenyu Wang Hongyan Li Qiang Hua Weihong Zhang Xuanzhe

Tao Chenggang Chen Jingchun Zhang Jiachao

(College of Optoelectronic Science and Engineering, National University of Defense Technology,  
Changsha, Hunan 410073, China)

**Abstract** As the fluorine atom generator, the discharge tube plays an important role in discharge-driven CW HF/DF chemical laser system. The discharge scheme widely employed currently is the high voltage DC power which uses ballast resistor to restrict current and the typical electrical parameter scales are several kilovolt and hundred milliampere. The traditional theory and results of experiments indicate that yield rate of fluorine atom is proportional to the input power of discharge tube; accordingly the laser power is proportional to the input electric power. Using resistances of different levels, for the same input power the scheme of low voltage and large current is easier to gain high laser power output than that of high voltage and low current.

**Key words** HF/DF chemical laser; discharge tube; discharge parameters; input power

### 1 引 言

电激励连续波 HF/DF 化学激光器在化学激光介质诊断、谱线大气传输吸收测量、中红外光学膜层检测等方面有重要用途。特别是近年来, 电激励化学激光器在泛频 HF 化学激光<sup>[1]</sup>、全气态碘化学激光器 (AGIL)<sup>[2]</sup>、电激励氧碘激光器 (ElectriCOIL)<sup>[3]</sup> 等化学激光前沿领域发挥了重要作用。放电管作为电激励连续波 HF/DF 化学激光器的 F 原子发生器, 在整个激光系统中占有十分重要的地位。目前, 采用最多也是最简单的是高压直流电源加镇流电阻方式, 其典型放电参数为近 10 kV 的高电压和百毫安量级的低电流<sup>[4]</sup>。这

收稿日期: 2009-04-14; 收到修改稿日期: 2009-07-06

作者简介: 文 备(1983—), 男, 硕士研究生, 主要从事气体激光器放电性质方面的研究。

E-mail: wenbeiwsh@yahoo.com.cn

导师简介: 李文煜(1970—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事气动光学和激光技术等方面的研究。

E-mail: wyli@nudt.edu.cn

种模式的电源变压器绕组多、绝缘要求高，因而体积庞大，有效电效率也比较低，对该类器件的推广使用形成了很大的障碍。

气体放电理论和电激励化学激光此前的大量实验认为：放电管 F 原子产率与放电管注入功率成正比、从而激光器输出功率与放电管注入功率成正比<sup>[5-8]</sup>。本文在相同的注入功率下，在不引起放电气体过热的前提下，通过实验对激光器的输出功率与放电电流的关系进行了研究。

## 2 实验装置

实验中采用的单放电管激光器结构如图 1 所示。该激光器由高压直流电源、镇流电阻及配套冷风机、放电管、水冷系统、供气系统、光腔以及真空系统组成。单电极放电管作为激光器的放电管，其中放电管阳极是  $\Phi=10\text{ mm}$  的不锈钢棒，放电管阴极是黄铜材料制成的环形电极，放电间距 270 mm。光腔镜采用曲率半径分别为 2 m 和 1 m，透过率分别为 0 和 5% 以及 0 和 15% 的两组  $\text{CaF}_2$  材料 HF 腔镜，光轴位置位于  $\text{H}_2$  喷注孔下游 1 mm 处，腔长 70 cm。电源为 10 kV，4 A 的高压直流电源。镇流电阻由若干个 25 k $\Omega$ ，150 W 线绕电阻进行串并联得到，串并联不同数量的电阻得到不同的镇流电阻值，镇流电阻采用强制风冷。激光器供气系统中的气体有  $\text{N}_2$ ，主副 Ar， $\text{NF}_3$  和  $\text{H}_2$ ，并使用浮子流量计进行气体流量控制，气瓶出口气压(表压)均为 0.2 MPa，废气直接排入真空球罐。

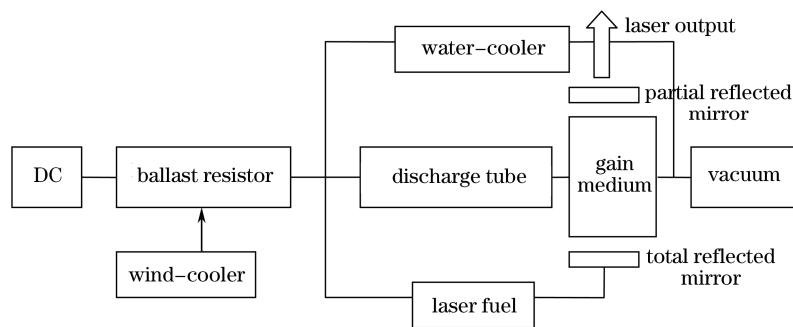


图1 激光器结构图

Fig.1 Structure of laser system

在实验中主要关注放电管的电参数，即放电管的电压与电流，进一步考察放电管放电时的阻抗。激光器放电系统的等效电路如图 2 所示。从图 2 可以得到放电管注入功率为

$$P = V_d I = I^2 R_d,$$

式中  $I$  为放电电流， $V_d$  为放电管两端的电压， $R_d$  为放电管的等效阻值，且放电管的阻抗可变，与电流  $I$  有关。通过测量放电管上的电压与电流，得到不同放电参数下放电管的阻抗，从而可以得到放电管随电流变化的阻抗特性。

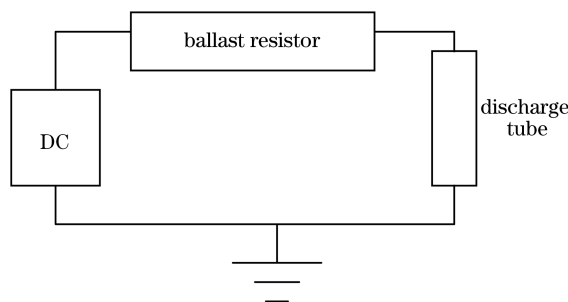


图2 放电系统

Fig.2 Discharge system

### 3 实验结果及分析

#### 3.1 实验结果

第一组：采用透过率为 5%的输出镜，镇流电阻由若干路线绕电阻并联而成，每路由 4 个 25 kΩ，150 W 的线绕电阻串联而成。实验数据如表 1 所示。第二组：采用透过率为 15%的输出镜，镇流电阻由若干路线绕电阻并联而成，每路由 4 个 25 kΩ，150 W 的线绕电阻串联而成。实验数据如表 2 所示。

表 1 第一组实验参数

Table 1 Experimental parameters of group 1

Ballast resistor/kΩ	Voltage of discharge tube $V_d$ /kV	Current in discharge tube $I$ /A	Pressure in optical cavity /kPa	Output power /W
4.15 (21 series)	0.48	1.37	1.7	4
6.24 (16 series)	0.75	0.95	1.6	3.5
12.48 (8 series)	3	0.4	1.3	3

表 2 第二组实验参数

Table 2 Experimental parameters of group 2

Ballast resistor /kΩ	Voltage of discharge tube $V_d$ /kV	Current in discharge tube $I$ /A	Pressure in optical cavity /kPa	Output power /W
4.15 (21series)	0.50	1.5	1.9	3.5
6.24 (16 series)	0.87	0.94	1.7	4
12.48 (8 series)	3	0.44	1.3	2.5

在实验过程中，各种气体配比对出光有很大影响，各种气体应经过流量调节后达到适当的配比。N<sub>2</sub> 气流量大小保持适中为宜，一般流量及示数在 1.0 m<sup>3</sup>/h 左右，N<sub>2</sub> 气对激光输出功率的影响比较小。激光器在工作状态时，主 Ar 的量以适中为宜，主 Ar 过多，放电管注入的功率减小，NF<sub>3</sub> 的离解效率下降；主 Ar 过少，放电管的阻抗增大，放电不稳定。副 Ar 可以改善放电管中主气流成分，降低主气流温度，NF<sub>3</sub> 气流量比较大时，增加副 Ar 的气流量能起到明显的功率提升作用。当需要提高功率输出时，应该尽可能提高 NF<sub>3</sub> 的气流量，并随之提高电源的电压以增加注入功率、增加主 Ar 以改善和稳定放电，而此时应该相应的提高 H<sub>2</sub> 气流量以加强抽运反应，从而提高输出功率。H<sub>2</sub> 的气流量主要依赖于 NF<sub>3</sub> 的气流量。一般的，随着 NF<sub>3</sub> 的增加而增加，但保持适中为宜，过大会降低输出功率。在几组实验中，为考察放电参数对出光的影响，各种气体的配比以及副 Ar 流量均控制在相同的水平。

必须要指出的是，大电流的放电情形对应于更高的光腔压力，一般来说这对于获得更高的功率输出是不利的，然而在实验中即使在腔压更高的情况下，仍然获得了比较大的功率输出。

#### 3.2 结果分析

放电管的阻抗随电流增大急剧下降，将两组实验得到的放电管参数如图 3 所示。从图 3 可以看出，在两组实验中都可以得到放电管阻抗随电流的变化趋势，随着电流的增大，放电管的阻抗减小，说明放电管是负阻性的。由于镇流电阻与放电管是串联关系，因此只有选择与放电管阻抗相匹配的镇流电阻，才能获得更大的注入功率。如果将实验进一步精确化，可以得到关于放电管的阻抗变化曲线，这就为选配镇流电阻提供了参考依据。考察两组实验中的注入功率及出光功率，如图 4 所示。

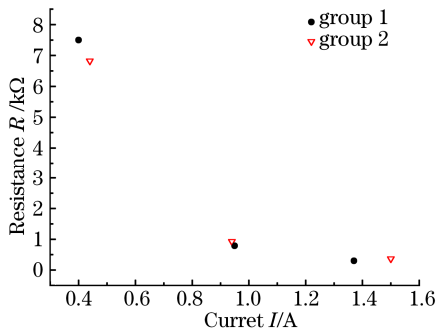


图 3 放电管阻抗

Fig.3 Discharge tube resistance

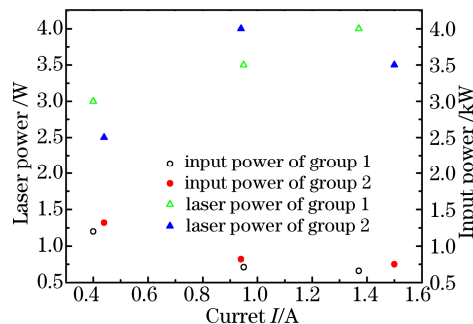


图 4 注入功率与激光功率

Fig.4 Input power and laser power

从表 1 和表 2 可以发现大电流模式(1.37 A, 1.5 A)放电时的注入功率为 0.66 和 0.75 kW, 均不大于小电流(0.4 A, 0.44 A)模式的 1.32 和 1.20 kW, 而其出光功率 4 和 3.5 W 要比小电流模式的 3 和 2.5 W 大。

在两组实验中, 放电管的内径固定, 气量条件及管内压强基本一致。放电电流增大时, 放电管内的电子数密度增大,  $\text{NF}_3$  分子与电子碰撞几率增大, 因此,  $\text{NF}_3$  分子离解率增大, 得到较高的 F 原子产率, 激光器更容易获得大的输出功率。

## 4 结 论

在相同注入功率条件下, 对比大电流模式与高电压模式, 在发热不至于影响器件寿命的前提下, 大电流的模式有利于功率输出, 由于电压相对较低, 镇流电阻较小, 有利于缩减激光器电源体积。

## 参 考 文 献

- 1 C. F. Wisniewski, K. B. Hewett, G. C. Manke II *et al.*. Small signal gain measurement in a small scale HF overtone laser[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **77**(2): 337~342
- 2 Gerald C. Manke II, Chris B. Cooper, Shiv C. Dass *et al.*. A multiwatt all gas-phase iodine laser (AGIL) [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2003, **39**(8): 995~1002
- 3 David L. Carrol, Joseph T. Verdeyen, Darren M. King, *et al.*. Continuous-wave laser oscillation on the 1315 nm transition of atomic iodine pumped by  $\text{O}_2(\alpha^1\Delta)$  produced in an electric discharge[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**(11):11104
- 4 Liping Duo, Shukai Tang, Haijun Yu *et al.*. DC discharge characteristics and fluorine atom yield in  $\text{NF}_3/\text{He}$  [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3): 170~172
- 5 J. J. Hinchey. Operation of a small single-mode stable cw hydrogen fluoride laser[J]. *J. Appl. Phys.*, 1974, **45**(4): 1818~1821
- 6 Donald J. Spencer, James A. Beggs, Harold Mirels. Small-scale CW HF(DF) chemical laser[J]. *J. Appl. Phys.*, 1977, **48**(3): 1206~1211
- 7 Huang Ruiping, Sun Yizhu. Small scale CW HF chemical laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 1983, **10**(4): 250~251  
黄瑞平, 孙以珠. 小型连续波HF化学激光器[J]. *中国激光*, 1983, **10**(4): 250~251
- 8 J. R. Roth. Industrial Plasma Engineering: Volume I :Principles[M]. Wu Jianqiang *et al.* transl.. Beijing: Science Press 1998. 194~209  
J. R. Roth. 工业等离子体工程: 第一卷 基本原理[M]. 吴坚强 等译. 北京: 科学出版社, 1998. 194~209