

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0024-03

限流变压器在电激励连续波 HF/DF 化学激光器中的应用

陶承刚 李文煜 王红岩 李强 华卫红 张暄喆 文备 陈景春

(国防科技大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 电激励连续波 HF/DF 化学激光器有着广泛的用途。目前流行采用高压直流电源加镇流电阻的放电模式, 这种放电模式效率低、体积大、成本高, 不利于激光器的推广。借鉴限流(漏磁)变压器在气体放电灯领域的应用, 利用限流变压器加整流器的方式, 成功实现了电激励连续波 HF/DF 化学激光器的平稳运转, 并大幅度减小了系统体积。这种电源模式比传统电源模式更简洁, 可推广至其他的电激励气体激光器。

关键词 激光器; 化学激光器; 限流变压器; 镇流电阻; 电激励; 连续波

中图分类号 TN248.5 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s2.0024

Application of Current-Self-Limited Transformer on Discharge Driven Continuous Wave HF/DF Chemical Laser

Tao Chenggang Li Wenyu Wang Hongyan Li Qiang Hua Weihong Zhang Xuanzhe
Wen Bei Chen Jingchun

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

Abstract Discharge driven continuous wave HF/DF chemical laser has been used widely in many research fields. The extensively adopted discharge scheme is high voltage DC power combined with ballast resistors, which is characterized by lower electrical efficiency, large volume and high cost, and is not convenient for use. Referring to the application of current-self-limited transformer on discharge electric gas lamp, current-self-limited transformer and selenium rectifier were used in this paper to make laser running successfully and reduce the volume of laser system significantly. This power supply scheme is much simpler and can be applied to other discharge driven gas lasers.

Key words lasers; chemical laser; current-self-limited transformer; ballast resistor; discharge-driven; continuous wave

1 引言

电激励连续波 HF/DF 化学激光器是电激励化学激光器的典型代表, 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着重要用途。特别是近年来, 电激励化学激光器在泛频 HF 化学激光、全气态碘化学激光器(AGIL)、电激励碘激光器(ElectriCOIL)等化学激光前沿领域发挥了重要作用^[1~4]。

高压直流放电是目前电激励化学激光器的主流放电模式。该电源系统工作电压接近 10 kV, 体积庞大、电效率低、且恒流特性差。另外工作气体放电具有负阻特性, 需要引入高阻值的镇流电阻来限流,

而镇流电阻占据不小的体积、损耗了超过一半的电能, 且需要对其进行强制冷却, 这些缺点严重制约了该激光器的大范围推广运用。

本文着眼于电激励 HF/DF 化学激光器的现实需求, 借鉴限流变压器在气体放电中的运用, 将限流变压器成功运用在电激励 HF/DF 化学激光器电源, 达到减小电源体积、去除镇流电阻的目的。

2 实验装置

2.1 电激励连续波 HF/DF 化学激光器

实验采用单放电管电激励连续波 HF/DF 化学激光器作为实验平台, 激光器实物如图 1 所示。

作者简介: 陶承刚(1983—), 男, 助理工程师, 硕士研究生, 主要从事电激励化学激光器放电方面的研究。

E-mail: gangfly@126.com

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

E-mail: wyli@nudt.edu.cn

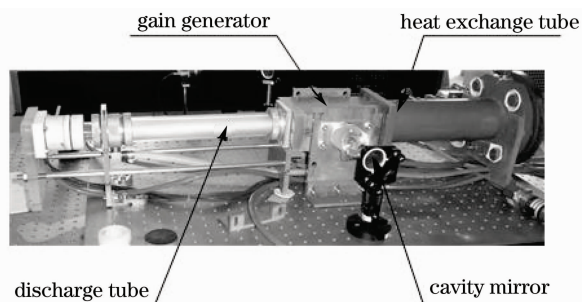


图1 电激励连续波 HF/DF 化学激光器

Fig.1 Discharge driven continuous wave HF/DF chemical laser

激光器安装在光学平台上面,基本结构与文献[5~7]类似。整个核心组件由放电管、增益发生器、光腔和热交换管组成。除核心组件外,整个激光系统还包括高压直流电源系统、气源及流量控制系统、水冷系统和废气排放系统。

放电管是激光器的自由氟原子发生器,其阴极采用黄铜环形电极,阳极采用8根并联的放电针,放电管内径28 mm,阴极和阳极间隔270 mm。激光器处于高压直流放电工作模式时,单放电管串联12.5 k Ω ,典型的工作参数是电源输出电压8~9 kV,电流0.4 A,放电管分压3.5 kV。

光腔由曲率半径为1 m的全反镜和曲率半径为2 m的5%输出镜组成,光轴距离D₂/H₂喷孔1 mm。

工作气体是NF₃, N₂, D₂/H₂, pAr(主氩), sAr(副氩)。其中NF₃是氟源, N₂是保护气, pAr起降低放电管起辉电压、维持放电管导通、稳定辉光放电、改善放电管注入功率的作用, sAr起改善放电管中主气流成分、降低主气流温度的作用, D₂/H₂是激光器的燃料。NF₃在放电管中电离产生F原子,从放电管中出来的携带有F原子的气流进入激光器的核心组件增益发生器,与喷入的D₂/H₂燃料流发生化学抽运反应,形成大量激发态的DF/HF分子,在腔镜的作用下产生激光,废气排入真空罐。激光器的工作气体参数如表1。

表1 激光器工作气体参数

Table 1 Laser gas fuel parameter

Fuel	Flow rate /(m ³ /h)	Inlet pressure /MPa
N ₂	0.6	0.2
D ₂ /H ₂	0.3	0.2
pAr	0.3	0.2
sAr	0.6	0.2
NF ₃	0.2	0.2

2.2 限流变压器

限流变压器也称为漏磁变压器,广泛应用于气

体放电灯中。气体放电在空载时必须有足够的启动电压输出,使气体击穿,工作气体击穿以后,放电管的电压急剧下降,所以在工业中,气体放电常用限流变压器作为放电电压,如给霓虹灯供电的漏磁式霓虹灯变压器就是一种典型的限流变压器。

限流变压器由初级绕组和次级绕组构成,只是在铁芯部分增加了分磁路,分磁路由硅钢片叠成。由于分磁路的存在,使变压器中不仅有与初级、次级绕组都匝连的主磁通,还有只与初级或者次级绕组匝连的漏磁通^[8]。初级漏磁通只在初级绕组中产生漏磁感应电动势。因为有漏磁通存在,所以造成了漏磁变压器限流的特性。应该指出,一般的变压器也有漏磁通存在,只是可以忽略。

实验所使用的变压器输出电压10 kV,最高输出电流200 mA,外形尺寸约224 mm×162 mm×178 mm,重量约27.5 kg,该变压器在体积和重量上都远小于普通高压直流电源。

2.3 数据采集

实验中使用10 kHz的采集卡采集了3组实验数据——放电管的放电电流、放电电压、激光出光功率的相对曲线。其中放电管的放电电压和放电电流真实反映了加在放电管上面的电压和电流,激光出光功率是通过用光电探测器探测经过衰减的激光能量得到的*p-t*曲线,能反映激光器出光的稳定性。另外,使用激光功率计探测激光的真实功率。

3 实验结果与分析

实验探索了单相电桥式整流放电,脉动系数为67%,为得到平稳的放电电压电流,尝试了电容滤波,但是由于该限流变压器的最大电流只有200 mA,导致电容和放电管之间形成连续的充电放电过程,无法形成稳定的放电电流。采用电感滤波,只有在满足 $\omega L \geq R_d$ 下,才能产生明显的滤波效果,放电管在电流200 mA时,其阻抗 R_d 约15 k Ω ,单相电桥式整流以后的电信号的低次谐波频率只有100 Hz,电感需要达到24 H才能有滤波效果,24 H的电感有很大的体积和重量,所以单相电桥式整流不适合用电感来滤波。

三相电桥式整流能获得脉动系数为5.7%的电压输出,可以得到平稳的放电,低次谐波频率为300 Hz,为得到更加平稳的输出电压,可以在桥式整流电路之后串联8 H的滤波电感。实验中发现在不加滤波电感的情况下,已经能获得平稳的激光功率。实验中采用三个单相限流变压器接成三相限

流变压器,如图 2 所示。

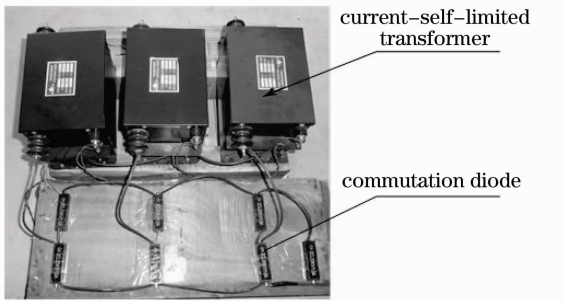


图 2 三相限流变压器

Fig. 2 Three-phase current-self-limited transformer

在 0.8 kPa 的腔压下,激光功率达到 5 W,用采集卡得到放电管放电电压电流和激光器出光相对功率曲线如图 3 所示。

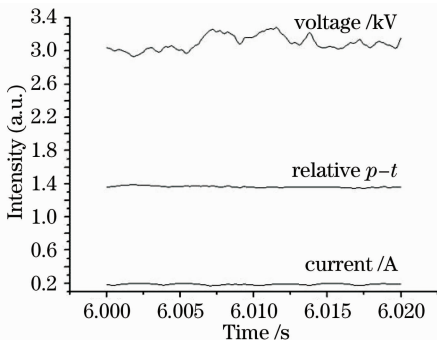


图 3 放电电压、电流和激光器出光相对功率

Fig. 3 Discharge voltage, current and relative laser power

基于限流变压器的三相桥式整流放电,和传统高压直流放电模式相比,具有一些优点。在调节出光的过程中,需要按照一定顺序调节工作气体的进气量,气体以 100 m/s 量级的流速流过放电管和增益区,放电管的阻抗在调气的过程中发生变化,但是实验中采用基于限流变压器的三相桥式整流的工作方式能够自动恒定输出 200 mA 的电流,输出电压随着放电管阻抗的变化自动调节,这种放电方式比传统高压直流放电更加稳定,并且自动恒流和防止断辉。激光输出功率稳定,不再需要加上滤波电感。

另外,这种电源方案不需要使用镇流电阻及相关冷却系统,比传统高压直流电源更简洁,体积大幅减小,运行更稳定。

4 结 论

探索了限流变压器在电激励连续波 HF/DF 化学激光器中的应用,研究了基于限流变压器的单相电桥式整流放电和三相电桥式整流放电的规律和特点,提出了一种简洁可靠的电源解决方案——基于限流变压器三相电桥式整流放电,解决了传统电源体积大、不稳定的问题,并且成功去除高压直流放电模式中的镇流电阻,对于类似的电激励气体激光器也有借鉴意义。

参 考 文 献

- 1 Gerald C. Manke, 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
- 2 Liping Duo, Shukai Tang, Haijun Yu *et al.*. DC discharge characteristics and fluorine atom yield in NF_3/He [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3): 170~172
- 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 O_2 ($\alpha^1\Delta$) produced in an electric discharge[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**(11): 11104
- 4 C. F. Wisniewski, K. B. Hewett, G. C. Manke *et al.*. Small signal gain measurement in a small scale HF overtone laser[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **77**(2): 337~342
- 5 J. J. Hinch. 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. A small 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 Liu Yuequn, Wang Qiang, Liu Zhuojiong. Principle and Application of Electrical Equipment of Lamp Source[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. 185~195
刘跃群,王强,刘卓炯. 光源电器原理和应用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 185~195