

·激光技术·

2 kHz 重复频率紧凑型TEA CO₂激光器

郑义军¹, 王旭², 谭荣清¹, 王东雷¹, 张阔海¹, 刘世明¹

(1. 中国科学院电子学研究所, 北京 100190; 2. 总参某部军事代表室, 辽宁 锦州 121000)

摘要:报道了一种高脉冲重复频率, 紧凑型横向激励大气压CO₂激光器。激光器使用紫外电晕预电离方式, 放电均匀、稳定。自由振荡情况下, 激光脉冲输出能量达到15 mJ, 输出脉冲宽度为60 ns。气体高速循环系统采用涡轮增压技术, 最高循环风速可达100 m/s以上, 激光脉冲重复频率为2 kHz。

关键词: TEA CO₂激光器; 高重复频率; 紫外预电离

中图分类号: TN248.2⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)01-0012-03

2 kHz Repetition-rate Compact TEA CO₂ Laser

ZHENG Yi-jun¹, WANG Xu², TAN Rong-qing¹, WANG Dong-lei¹, ZHANG Kuo-hai¹, LIU Shi-ming¹

(1. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Military Representative Office of General Staff, Jinzhou 121000, China)

Abstract: A compact transversely excited atmosphere (TEA) CO₂ laser with high repetition-rate is reported. The ultraviolet pre-ionization makes the discharge even and stable. The output energy is 15 mJ and the output pulse width is 60 ns under the free oscillation. The turbocharger technology is applied in the high speed gas circulation system, the highest wind velocity is over 100 m/s, the repetition rate of the TEA CO₂ laser is 2 kHz.

Key words: TEA CO₂ laser; high repetition rate; ultraviolet pre-ionization

TEA CO₂激光器具有高峰值功率和高重复频率输出的特点, 但因为由真空密封腔系统、谐振腔系统、气体高速循环系统、冷却系统等多部分组成, 结构繁杂, 激光头体积较大。同时受循环气体风速的影响, 小型高重复频率TEA CO₂激光器的频率大多在几十到几百赫兹左右, 南非Wouter Kiopper等人曾报道过重复频率为1 kHz的稳定运转的TEA CO₂激光器, 是目前公开报道的重复频率最高的横向激励大气压CO₂激光器^[1-8]。

采用大功率风机, 提高气体高速循环系统的风速是获得高重复频率TEA CO₂激光脉冲输出最直接有效的手段, 但这同时又势必会增加激光头的体积, 影响到激光器的应用领域。文中激光器外型尺寸小, 采用小型风机涡轮增压技术, 最高循环风速

可达100 m/s以上, 并以此为基础, 获得单脉冲能量15 mJ, 输出脉冲宽度为60 ns, 重复频率为2 kHz的稳定激光脉冲输出。

1 实验装置

该CO₂激光器工作介质为CO₂、N₂和He的混合气体, 工作气压为100 kPa, 激光器采用紫外电晕预电离结构, 放电方向与光轴方向垂直。激光腔外壳材料为不锈钢, 其中主要放置主放电电极、预电离电极、涡轮增压风机以及热交换系统等。电极采用Ernst紧凑型电极, 以获得优良的电场均匀性。预电离采用石英管紫外电晕预电离, 在主放电前, 预电离放电后, 主电极间部分气体被电离, 电极间阻抗下降, 主放电辉光放电, 均匀稳定。主放电电极间

收稿日期: 2010-11-24

基金项目: 中国科学院电子学研究所青年创新基金(5083)

作者简介: 郑义军(1975-), 男, 安徽人, 博士, 副研究员, 主要从事激光器的研制及其应用领域研究。

距10 mm,电极宽度10 mm,电极长度120 mm,工作气体放电增益体积为 $12 \times 10^3 \text{ mm}^3$ 。激光头整机结构如图1所示。

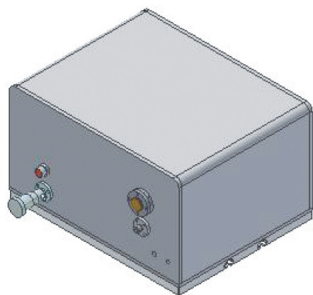


图1 激光头结构示意图

激光谐振腔为平凹腔,由一个曲率半径为4 m的全反镜和部分透射的平面输出镜构成一个稳定谐振腔。考虑到腔内的激光输出的增益较低,输出镜采用双面镀膜工艺,腔内侧镀对中心波长为 $10.6 \mu\text{m}$,反射率为60%的膜层,外侧镀对中心波长为 $10.6 \mu\text{m}$ 的增透膜。

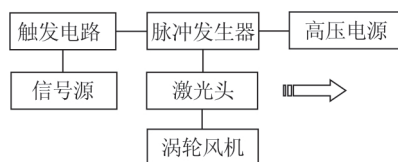


图2 2 kHz紧凑型TEA CO₂激光器系统框图

如图2所示,激光器系统由激光头、高压电源、脉冲形成单元、脉冲触发电路和触发信号源等几部分组成。涡轮增压风机开启后,激光头内气流由风机出口高速喷出,流经主电极。高压电源开启,将脉冲形成单元内储能电容迅速充至设定电压。低电平触发信号经触发电路升压至2 kV,触发闸流管导通,当闸流管被触发导通瞬间,预电离电容感应出高压,由于阴极与预电离之间间隙很小,首先放电产生紫外电晕。在紫外电晕预电离的作用下,主电极间电子迅速增加,当电子密度达到一定程度时,主电极间气体辉光放电,形成均匀激励场。激光脉冲在谐振腔内振荡输出。其脉冲重复频率由作为信号源的信号发生器控制,连续可调,最大输出脉冲信号频率为300 kHz。实验中,采用的CO₂激光脉冲能量计为molectron-100,激光波形探测器为光子牵引探测器,高压探头为P6015A,电流计为罗斯科夫线圈。

2 实验结果与分析

2.1 实验结果

实验中,工作气体比例为CO₂:N₂:He=1:1:4,器件储气总气压为100 kPa,储能电容值 C 为2 nF。实验中采用泰克P6015A高压探头,罗斯科夫线圈A10和TDS 3032B数字存储示波器同步测量了18 kV激励电压条件下,气体辉光放电电压与电流波形如图3所示。其中通道1为放电电压波形,通道2为放电电流波形。高压开关导通30 ns后,由于阳极与阴极之间的距离远远比预电离电极与阴极之间距离大,因此当储能电容上的电压还未能阳极与阴极间形成击穿时,预电离电极与主电极阴极之间便可产生电晕放电。预电离电容充电时间约为60 ns,然后迅速放电,其时间约为40 ns。随着预电离产生的电子数的增加,在阴极附近形成足够的电子浓度。在100 ns时刻左右,主电极开始放电,电流最大值约为3 kA,持续时间为400 ns。主放电过程中,储能电容的大部分能量注入电极,在电极间形成放电均匀场,如图4所示。

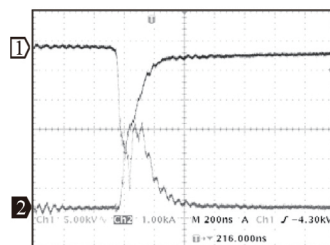


图3 气体辉光放电电流与电压同步波形图

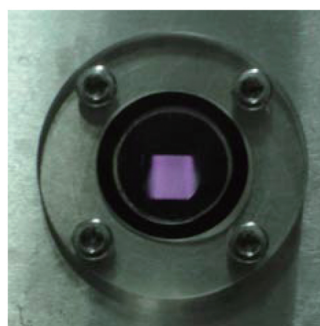


图4 电极间辉光放电图

放电电压为20 kV的条件下,由molectron-100能量计对激光输出脉冲能量进行测量。在脉冲重复频

率为1 Hz的条件下,可得到输出激光脉冲能量约为15 mJ。调节电源电压,得到对应于不同放电电压条件下能量的输出曲线,如图5所示。随着注入能量的增加,激光脉冲输出能量基本上呈线性增加的趋势。在16.5~21.5 kV之间,激光脉冲输出能量随着激励电压的增加而较快增加。电压低于15 kV时,主电极之间电压过低,不能形成有效辉光放电。当电压超过24 kV时,能量密度注入过大,导致电极局部弧光放电。采用光子牵引探测器测得激光脉冲的半高全宽(FWHM)为60 ns,如图6所示。

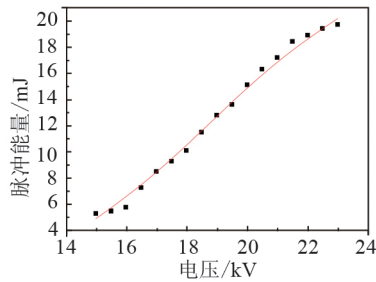


图5 电压与脉冲输出能量的关系

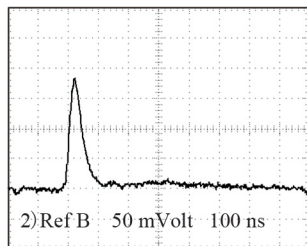


图6 激光脉冲波形

涡轮增压风机的输入电压从0~250 V连续可调,可以控制激光器腔体内激光混合气的循环速度,从而达到控制气体清洗系数的目的。实验中,分别选取20、50、100、150、200、230 V 6档电压控制风速,在每档电压条件下,调节脉冲信号发生器的激光脉冲触发频率获得均匀稳定的激光脉冲输出。对应于涡轮增压风机不同输入电压条件下的风速与激光脉冲稳定输出的重复频率的关系如图7所示。很明显,激光脉冲重复稳定输出的频率与风机的风速有着非常密切的关系。当清洗系数大于3的时候,激光器则可以获得稳定的高重复频率的脉冲输出。在激光器内部激光混合气循环风速达到100 m/s时,激光脉冲重复频率可以达到2 kHz。

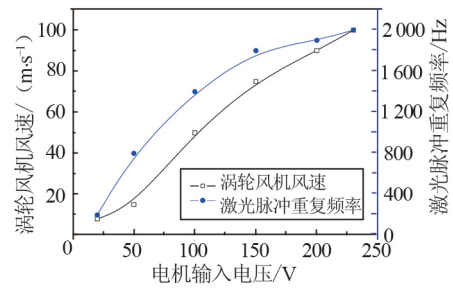


图7 不同输入电压下激光脉冲重复频率与风机风速的关系

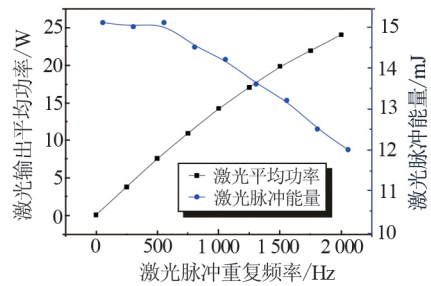


图8 脉冲重复频率与激光脉冲能量和平均功率的关系

图8给出了输入电压为20 kV,不同激光脉冲重复频率条件下,激光脉冲输出的平均功率和对应的单脉冲平均能量曲线,由图8可知,随着激光脉冲重复频率的增加,激光脉冲输出的平均功率呈单调递增的趋势,当激光脉冲重复频率低于500 Hz时,激光单脉冲能量基本处于15 mJ左右的一个固定值,当激光脉冲重复频率大于500 Hz时,激光脉冲平均功率的增幅呈下降趋势,单脉冲能量也随之下降,由重复频率为500 Hz时的15 mJ,逐渐下降为重复频率为2 000 Hz时的12 mJ左右。

2.2 实验分析

作为高压CO₂激光器,其气体比例及压强存在一个最佳值,当总气压超过最佳值后,会出现气体不易放电或局部区域弧光放电的现象,导致输出激光脉冲能量下降。根据气体比例实验的结果,该激光器件工作介质由CO₂、N₂、He 3种气体混合组成。激光器输入能量由储能电容量和充电电压确定。由图5可知,激光器的输出能量与激励电压呈线性增加的关系,激励电压越高,输出能量越大,曲线并未呈现饱和。但在激光器的电极结构与工作介质条件一定时,激光器最大注入能量是一定的。注入能量太低,激励能量不够,注入能量过大,

(下转第50页)

200 mm, 直径为 450 μm 的 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 单晶光纤用于试验, 将两端磨光, 在其一端均匀镀上一层黑体膜, 作为高温传感器的信号源, 测量光纤后的透射谱, 发现镀膜对光的吸收率大于 98%, 接近理想黑体, 能满足其作为光纤传感器信号源应具有的黑体辐射特性的要求。

参考文献

[1] 顾菊观, 沈永行, 陈曙英, 等. LHPG 法单晶光纤生长中

的熔区控制技术[J]. 材料科学与工程, 2001, 19(4): 20-23.

[2] 陈继勤, 丁祖昌. 光学晶体纤维[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1995.

[3] 童利明. 高温单晶光纤[D]. 杭州: 浙江大学, 1996.

[4] 激光晶体编写组. 激光晶体[M]. 上海: 上海人民出版社: 32-33.

[5] Dils R R. High temperature optical fibre thermometer [J]. J. Appl. Phys, 1983, 54(1): 198-201

(上接第 14 页)

容易导致收缩电弧的形成, 破坏放电电场的均匀性, 激光输出能量下降。在 18 kV 激励电压条件下, 主电极间注入能量密度为 $2.7 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{mm}^{-3}$, 电光转化效率约为 4。

由于 TEA CO_2 激光器的增益开关效应, 腔内迅速建立而形成光脉冲的输出具有较窄的脉冲宽度, 通常这一宽度大约在 200 ns 左右。而该激光器的腔内气压为 100 kPa, 较高的气压使得参与激励的气体分子增多, 使上、下能级粒子反转密度增大, 加快了上、下能级粒子弛豫速率, 缩短了能级寿命, 因而激光脉冲宽度仅为 60 ns。

脉冲放电激励的 TEA CO_2 激光器是通过电子对 CO_2 分子的串级激发实现增益放大的, 即先激发到高能级 $\text{CO}_2(00^0\text{V}_3)$, 然后经多次碰撞在 00^01 能级积聚, 当激活介质的增益逐渐增大以至超过损耗时, 在腔内迅速建立振荡, 输出激光。这一能量的交换过程需要一定的时间, 通常这一时间需要 $1 \sim 2 \mu\text{s}$, 加之对于含 N_2 器件而言, 因为 N_2 分子激发 CO_2 时其能量转移速率较慢, 激光脉冲建立的时间会更长一些, 大约在 $3 \sim 4 \mu\text{s}$ 之间。相对于 2 kHz 的激光脉冲重复频率间隔时间 500 μs , 激光脉冲的建立时间是充裕的。由图 7 可知, 只要处于放电区的工作介质达到足够的清洗速率, 激光器则可以获得稳定的高重复频率的脉冲输出。在激光器脉冲重复频率低于 500 Hz 运转时, 激光脉冲输出能量是基本稳定的, 而当大于 500 Hz 时, 激光脉冲能量呈现一定的下降趋势。初步分析可能是由于重复频率的增加, 增益区粒子温度上升, 反转粒子数下降所导致。此外, 长时间气体放电引起的 CO_2 分子分解也会导致能量的下降, 因此在激光混合气中适当加入还

原性气体比例以延长激光增益介质的寿命, 是该型激光器长效稳定运转的关键。

3 结论

在紧凑型横向激励大气压 CO_2 激光器中, 采用小型风机涡轮增压技术, 最高循环风速可达 100 m/s 以上, 并以此为基础, 获得单脉冲能量 15 mJ, 输出脉冲宽度为 60 ns, 重复频率为 2 kHz 的稳定激光脉冲输出。

参考文献

[1] Karapuzikov A I. TEA CO_2 laser for long range DIAL lidar[J]. Infrared Physics & Technology, 2000, 41: 77-85.

[2] 郑光, 谭荣清, 郑义军, 等. TEA CO_2 激光脱漆实验研究[J]. 激光杂志, 2005, 26(5): 82-83.

[3] 郑义军, 谭荣清, 张阔海, 等. 激光推进自由飞行实验[J]. 中国激光, 2006, 33(2): 171-174.

[4] Wouter Kiopper, Kalina Bagrova, Johan du Pisanie, et al. Short-cavity high-repetition-rate CO_2 laser[J]. OPTICAL ENGINEERING, 1994, 33(9): 2866-2869.

[5] Katsumi Midorikawa, Hidekazu Hatanaka, S Minoru Obarat, et al. A 1 kHz repetition-rate 500 W CO_2 TEA laser employing solid-state pulse power conditioning Meas [J]. Sci. Technol, 1993, 4: 388-391.

[6] Jeffrey I Levatter. High repetition rate, uniform volume transverse electric discharger laser with pulse triggered multi-arc channel switching[P]. United states patent, 4498183.

[7] 侯天晋, 江东, 郑从众, 等. 小型高重复频率 TEA CO_2 激光器的研究[J]. 激光技术, 1996, 20(6): 346-348.

[8] 王英, 黄维玲. TEA CO_2 激光器换气速率与稳定性研究[J]. 激光技术, 1996, 20(1): 44-45.