

文章编号: 1001-3806(2004)05-0480-02

高 峰 值 功 率 脉 冲 氟 化 氢 激 光 器

柯常军, 万重怡, 周锦文, 吴 谨

(中国科学院 电子学研究所, 北京 100080)

摘要: 报道了大体积火花预电离横向放电的脉冲 HF 激光器。通过采用紧凑的结构安排, 在放电体积为 $4\text{cm} \times 5\text{cm} \times 90\text{cm}$ 的 SF_6 和 C_2H_6 混合气中获得了均匀稳定的放电。在总气压为 12.6kPa 、最高充电电压 45kV 时, 激光输出脉冲能量为 3J , 激光脉冲峰值功率约 18MW 。

关键词: 火花预电离; 高 峰 值 功 率; 非 链 式; 脉 冲 HF 激 光 器

中图分类号: TN248.2 **文献标识码:** A

High peak power pulsed HF laser

KE Changjun, WAN Chongyi, ZHOU Jinwen, WU Jin

(Institute of Electronics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: A large volume spark preionized pulsed HF laser is reported. Stable diffuse discharge occurs in an active volume $4\text{cm} \times 5\text{cm} \times 90\text{cm}$ of SF_6 and C_2H_6 hybrid gas. Under the condition of gas pressure 12.6kPa and charge voltage 45kV , the laser gives laser output energy up to 3J with a pulsed peak power 18MW .

Key words: spark preionization; high peak power; non chain; pulsed HF laser

引 言

由于在激光雷达和激光医学等领域的应用前景, 放电引发的非链式脉冲 HF 激光器(激光输出波长为 $2.7\mu\text{m}$ 附近的多谱线)近年来受到了相当大的重视^[1~3], 进展也很迅速。 SF_6 的强电负性使得非链式脉冲 HF 激光器与其它气体激光器相比, 获得稳定的放电更为困难。稳定放电的方法有多种, 本文中采用火花预电离方案。这种预电离方案主要有两个优点: 一是 SF_6 的强电负性需要更强的初始电子浓度, 而火花放电能提供最高强度的预电离; 二是在保证均匀放电的前提下, 更高强度的预电离, 允许更大的注入能量。采用火花预电离方案在小激活体积 SF_6 和 C_2H_6 混合气中获得了均匀的放电, 利用 $1\text{cm} \times 2\text{cm} \times 60\text{cm}$ 的放电体积得到了峰值功率为 1.5MW 的 HF 激光输出^[4]。本文中主要研究了这种激光器的放大能力。实验证明, 采用这种预电离方案, 在扩大放电体积的同时, 采用紧凑的低电感结构可以获得均匀稳定的放电。利用 $4\text{cm} \times 5\text{cm} \times$

90cm 的放电体积获得了峰值功率约 18MW 的 HF 激光输出, 激光器的电光转换效率为 1% 。

1 实验装置

图 1 给出了激光头的示意图。为了便于实验观

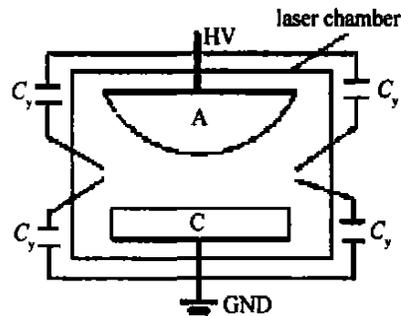


Fig. 1 The schematic of laser head

察, 激光腔体采用透明的有机玻璃材料制成, 方形腔体的尺寸为 $13\text{cm} \times 14\text{cm} \times 128\text{cm}$, 腔体两端用 NaCl 布儒斯特窗口密封。放电电极间距 5cm , 阳极是均匀放电截面为 $4\text{cm} \times 90\text{cm}$ 的改进型 Ernst 硬铝电极, 阴极是截面为 $6\text{cm} \times 100\text{cm}$ 的镀镍平板电极。为保证得到稳定的放电, 主电极两侧用电容耦合的镍针火花放电阵列产生强烈的紫外光辐射, 使整个放电体积形成体预电离。每个阵列由均匀分布的 25 对镍针组成, 火花针间距为 4mm , 预电离耦合电容对称置于腔体外侧, 一端与腔体内均匀分布的火

作者简介: 柯常军(1973), 男, 博士, 主要从事高功率激光器研究。

E-mail: ke6757@sina.com

收稿日期: 2003-09-16; 收到修改稿日期: 2003-10-28

花针阵列相连,另一端与腔体内主放电电极相连,电极与电源的连线采用多条宽铜带并联。这种结构可以大大减小激光腔体的体积和降低整个放电回路的电感。有利于快放电的获得,形成稳定均匀的放电。采用曲率半径为 12m 的镀金高反凹面镜做反射镜,输出耦合镜采用了两种不同反射率的 ZnSe 平面镜,一种为未镀膜的 ZnSe 平行平面镜,另一种为在 2.7 μm 处反射率为 70% 的 ZnSe 平面镜。实验结果表明,采用未镀膜硒化锌平面镜作输出耦合镜时,激光输出能量高于镀膜硒化锌平面镜约 25%,原因是氟化氢激光具有很高的增益系数,未镀膜的 ZnSe 平行平面镜有更高的耦合率。因此,在大部分实验中采用未镀膜硒化锌平面镜作输出耦合镜。激光脉冲能量用 Molectron J100 型能量计测量,激光脉冲波形用 Molectron P3-01 型热释电探测器探测,然后到 Tektronix TDS-220 数字示波器上显示。

2 实验结果

2.1 预电离结构优化

实验表明,预电离阵列距电极中心的位置、预电离耦合电容的大小等因素对主放电稳定性有很大影响。合适选取预电离器与电极中心的距离 d , 有利于获得均匀稳定的主放电和提高激光输出能量。随着 d 的减小,主放电的击穿电压会略有下降,但是起弧电压却大大减低,最大的激光输出能量明显下降。这是由于预电离阵列离主放电电极中心过近,对主放电电场有很大的影响所致。有时会发现主放电经预电离针放电,形成强烈的弧光(起弧部位大多为电极两侧),这表明预电离器离电极的距离太近;随着距离 d 的增大,主放电的击穿电压会略有提高,但是起弧电压却有所减低,最大的激光输出能量有所下降。放电起弧的部位大多为电极的中心位置,这是由于预电离阵列离主放电电极中心太远,造成预电离电子浓度不够造成的。发现预电离器与电极中心的距离 $d = 6\text{cm}$ 是最佳位置。比较了两种不同预电离耦合电容 C_y 的激光输出。与 $C_y = 470\text{nF}$ 相比,利用 $C_y = 2000\text{nF}$ 时可以得到高得多的激光输出,且允许使用更大的储能电容和更高的充电电压。在大多数实验中,采用 $C_y = 2000\text{nF}$ 作为预电离耦合电容。如果进一步优化可以得到最佳的预电离耦合电容值。表明与 TEA CO_2 激光器相比,非链式脉冲 HF 激光器产生辉光放电需要更多的能量用于预电离耦合电容,这与 SF_6 分子的强电负性是一致的,采用更大的预电离电容来提供更强的预电离

电子浓度可以弥补 SF_6 分子对电子的吸附。

2.2 激光器参量测量

实验中采用总气压 12.6kPa、气压比 $p(\text{SF}_6): p(\text{C}_2\text{H}_6) = 20:1$ 的混合气,储能电容为 0.3 μF ,由于电源的限制,充电电压的变化范围为 36kV~45kV。用自制的罗戈夫斯基线圈测量了激光器放电时的放电电流,图 2 中给出了充电电压为 40kV 时的放电

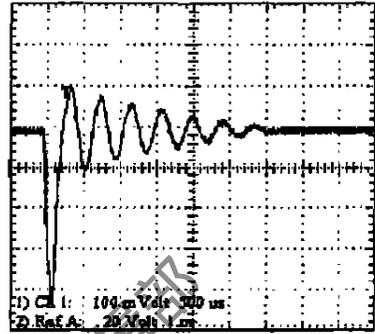


Fig. 2 Typical oscillogram of discharge current

电流波形。与主峰相比,波形中的其余振荡可以忽略,因此,可以认为放电电流脉冲的半高全宽为 180ns。图 3 中给出了激光输出能量随充电电压的变化关系,不难发现激光输出能量几乎随充电电压

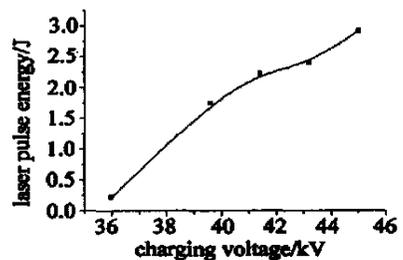


Fig. 3 Dependence of laser pulsed energy on charge voltage

线性增长。在最高电压 45kV 时获得了 3J 的激光能量输出。图 4 是典型的激光脉冲波形,脉冲宽度为 170ns 左右,与放电电流脉宽相当。按三角形脉冲

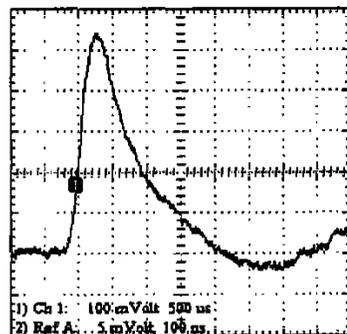


Fig. 4 Typical oscillogram of laser pulse

估算,激光脉冲峰值功率约 18MW。图 5 是 3J 激光输出时形成的光斑,光斑形状为近似球形。放电过程

(下转第 542 页)

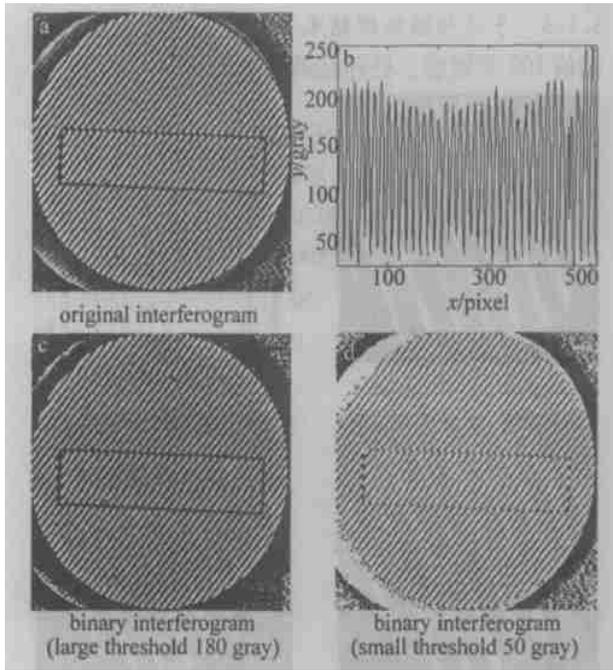


Fig. 5 Processed interferogram by the Gaussian blur method

阴影噪声, 经过乘性阴影噪声校正后, 从剖面图和二值化图中可以看出达到了比较理想的效果。

4 结束语

处理了带有阴影噪声的干涉图, 取得了比较理

(上接第 481 页)



Fig. 5 Near field zone of laser emission

中也观察到放电截面近似于矩形, 但靠近平板电极一侧稍宽, 而 Ernst 电极一侧较窄。放电后电极上留下的痕迹也验证了这个现象, Ernst 电极上放电痕迹宽度为 3.5cm, 而平板电极放电痕迹宽度为 4cm。实际的 Ernst 电极放电宽度未达到设计宽度, 进一步提升充电电压可以得到更高能量的激光输出。

3 结论

实验结果表明, 火花预电离方案可以用于大体

想的效果, 说明这些方法不但在理论上是可行的, 而且也有重要的实用价值, 还可以应用其它方面的图像处理。当然这些方法还有许多可改进之处, 比如: 图像背景阴影噪声类型的判断、最佳背景图像的获取和最佳处理结果的评价等, 还需要进一步的研究探讨。

参 考 文 献

- [1] 陈 磊. 图像采集与波面复原 [D]. 南京: 南京理工大学, 1990. 1.
- [2] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法和实现 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996. 11~ 13.
- [3] 吕 芝, 马世芳. 显微图像阴影校正的设计 [J]. 计算机报, 1992, 10: 797~ 780.
- [4] 许龙律, 周洪玉, 王学林. 用软件实现阴影校正 [J]. 电脑学习, 1993, 3: 42~ 45.
- [5] 李 军. 金相显微图像的阴影校正算法 [J]. 计算机应用, 2001, 2(6): 34~ 36.
- [6] 宗孔德. 数字信号处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1988. 23~ 30.
- [7] 李朝辉. 抑制数字图像中乘性噪声的方法 [J]. 电子科学学报, 1993, 15(3): 235~ 240.
- [8] 李庆扬, 关 冶, 白峰杉. 数值计算原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001. 6.

积横向放电的脉冲 HF 激光器中。通过采用紧凑的结构安排, 将放电体积从 0.12L 扩大到 1.8L, 仍然能在合适气压下的 SF_6 和 C_2H_6 混合气中获得均匀稳定的放电。在总气压为 12.6kPa、最高充电电压 45kV 时, 激光输出脉冲能量为 3J, 激光脉冲峰值功率由 1.5MW 提高到 18MW, 激光器的电光转换效率为 1%。目前, 激光器仅运转于单脉冲模式下, 关于重频脉冲 HF 激光器的研究正在进行中, 这部分工作将另文发表。

参 考 文 献

- [1] GORYUNOV F G, GURKOV K V, LOMAEV M I. Pulsed chemical electric discharge $SF_6 H_2$ laser [J]. Quantum Electron, 1994, 24: 1064~ 1066.
- [2] LACOUR B, GAGNOL C, PRIGENT P. High average power HF/DF laser [J]. Proc SPIE, 1998, 3574: 334~ 340.
- [3] BULAEV V D, KULIKOV V V, PETIN V N. Experimental study of a nonchain HF laser on heavy hydrocarbons [J]. Quantum Electron, 2001, 31: 218~ 220.
- [4] 柯常军, 万重怡, 吴 谨. 气体组分和峰化电容对脉冲 HF 激光输出特性的影响 [J]. 中国激光, 2003, 30(1): 1~ 4.