

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0086-03

X 射线预电离放电抽运 XeCl 准分子激光器

钱 航, 唐 影, 易爱平, 赵学庆, 刘晶儒

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要 较大口径、较长脉宽放电抽运准分子激光器是 XeCl MOPA 系统中的重要环节。介绍了一种双放电结构的 X 射线预电离激光器, 在充电电压 50 kV, 气分比 $\text{HCl}:\text{Xe}:\text{Ne}=1:2.5:2000$, 气室气压 $3.546 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的情况下, 获得了稳定的激光输出, 激光光束大小为 $4 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$, 最大能量 2 J。实验发现, 为获得均匀的体放电, X 射线预电离激光介质的时间和主电极间隙被击穿的时间间隔不能超过 500 ns。

关键词 激光技术; XeCl 激光器; X 射线预电离; 放电抽运

中图分类号 Tn248.2⁺2 **文献标识码** A

Discharge-Pumped XeCl Excimer Laser with X-Ray Preionization

QIAN Hang, TANG Ying, YI Ai-ping, ZHAO Xue-qing, LIU Jing-ru

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xian, Shaanxi 710024, China)

Abstract A discharge-pumped XeCl excimer laser (PEL) with X-ray preionization was introduced. The capacitance lines were charged pulsed mode, and the energy stored in PFL was transferred to mixture medium by a multi-channel rail switch. As the source of X-ray, the vacuum diode produced X-ray during the time of about 500 ns earlier before the discharge of electrodes. The maximum output energy of 2 J was obtained experimentally with the charging voltage of 50 kV, the gas mixture of $\text{HCl}:\text{Xe}:\text{Ne}=1:2.5:2000$, and the pressure of $3.546 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Key words laser technique; XeCl excimer laser; X-ray preionization; discharge pumping

1 引 言

高功率准分子激光在惯性约束聚变(ICF)、紫外高亮度源、激光与物质相互作用等领域具有广泛的应用前景。由于准分子激光饱和光强低, 要提高激光能量, 需要有较大的激光输出窗口, 这就要求实现激光介质大范围的均匀抽运, 也是提高激光器总体效率的需要。在放电抽运准分子激光器的研究中, 实现器件大范围的均匀体放电, 避免形成电弧放电是大范围均匀抽运的前提。因为一旦电弧放电通道形成, 其放电区域很小而且电流密度大, 必将影响能量在气体等离子体中的沉积, 同时抑制激光辐射的形成^[1]。

预电离技术是产生均匀体放电的关键, 目前常用的预电离方式主要有紫外预电离和 X 光预电离。通常紫外预电离适用于电极间隙小、气压相对较低的激光器件, 该类激光器放电区域较小, 输出能量较低; X 射线能够在较大的激活体积中使气体产生均匀的预电离, 以保证气体放电时所需要的足够的初始电子,

实现激光电极间均匀稳定的辉光放电。

本文详细介绍了从俄罗斯引进的 X 射线预电离放电抽运 XeCl 准分子激光器的原理、结构以及激光实验结果。

2 激光器的结构原理

激光器的主体由激光器腔体、抽运发生器和 X 射线发生器构成。激光器腔体为圆柱形, 输出窗口 $\phi 90 \text{ mm}$ 。腔体内有两个具有一定断面形状的主电极, 电极间隙约 5 cm, 其中地电极为 $100 \mu\text{m}$ 的钛膜, 用于产生 X 射线预电离源的真空二极管安装在激光器腔体内地电极的一侧。二极管阳极靶为 $200 \mu\text{m}$ 厚的钽膜, 由二极管产生的电子束轰击钽靶产生 X 射线。真空二极管电源为三级 Marx 发生器, 每级电容量为 15 nF, 充电电压为 25~30 kV, 电容器串联放电时能为真空二极管提供 60~80 kV 的脉冲电压。X 射线通过地电极注入激光气室, 对激

作者简介: 钱 航(1981~), 男, 安徽庐江人, 西北核技术研究所助理工程师, 主要从事高功率准分子激光技术的研究。

E-mail: bingtongst@yahoo.com.cn

光介质进行预电离,气体放电室的激活体积为 $3\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 80\text{ cm}$ 。激光电极的阳极与抽运发生器相连,抽运发生器主要由电容量为 5 nF 的峰化电容器阵列、多通道轨道开关和两条并联的形成线 PFL-300 组成。每条形成线电气长度为 300 ns ,电容量约 150 nF 。为保证绝缘并减少漏电流,形成线、多通道火花开关和峰化电容全部浸入在变压器油中。

激光器采用形成线脉冲充电,并通过多通道轨道开关向激光气室放电,抽运激光介质。为使形成线阻抗与激光气室放电阻抗相匹配,提高能量传输效率,激光器采用如图 1 所示的双放电电路的设计。

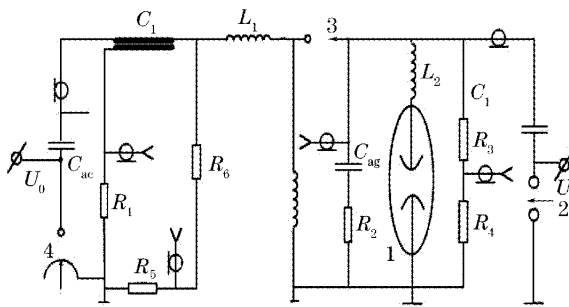


图 1 激光器电路原理图

Fig. 1 Circuit diagram of laser

高压直流电源向电容器 C_{ac} 充电,充到峰值后,火花控制开关 4 导通,电容器 C_{ac} 开始向电容形成线 C_1 充电,充电时间大约为 $2.5\text{ }\mu\text{s}$ 。电容器 C_{ac} 向电容形成线 C_1 充电到 $2\text{ }\mu\text{s}$ 时,X 射线预电离开始,X 射线预电离持续约 500 ns 后,高压触发开关 2 触发导通,电容器 C_1 向峰化电容充电。峰化电容器 C_{ag} 充电到一定程度后,主电极间隙 1 击穿,体放电形成。在体放电形成时,多通道轨道开关 3 击穿,电容形成线 C_1 迅速放电,将能量全部转移到主电极间隙 1 中,维持体放电。在放电过程中,混合气体被激励并辐射产生大量电子,在谐振腔中振荡形成激光输出。

电阻分压 R_3-R_4 和 R_5-R_6 分别用于记录电容形成线上和气体放电室入口处的电压脉冲。形成线和峰化电容器的充放电电流由分流器 R_1, R_2 测量。

3 激光实验及结果

3.1 X 射线对放电均匀性的影响

X 射线预电离激光介质的时间对均匀体放电的形成有较大影响。经实验研究,X 射线预电离的时间在电极间隙击穿前约 500 ns 左右的范围内,激光器均能产生均匀的体放电,当超过 500 ns 时,均匀

性将变差。这是因为气体放电时如没有预电离,则在间隙电压上升的过程中,由于漂移、复合以及电负性气体分子吸附等引起电子的损耗,使自持体放电的形成时间大大增加,导致电子崩头部电荷密度过大,形成流注放电,因而难以实现均匀的辉光放电。如果 X 射线注入时间过早,此时电极间隙电压较低,预电离产生的自由电子容易被具有强电负性的 HCl 气体分子捕获形成负离子,减小了气体中的自由电子密度,导致体放电均匀性变差。

3.2 激光的输出特性

激光器实验布局如图 2 所示。激光器的谐振腔是由反射率为 99% 的介质膜全反镜和透过率为 30% 的输出镜组成的平行平面腔。用胶片(或干板)测量输出的激光光斑,测得激光近场光斑大小约为 $4\text{ cm} \times 5\text{ cm}$;用 JMax43 能量计测量激光器的输出能量;用 GD 51 光电管测量光信号。

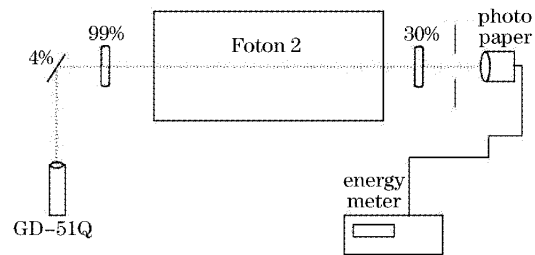


图 2 激光实验布局图

Fig. 2 Schematic diagram of the laser system

实验研究了激光能量特性随充电电压变化的规律。在混合气体的比例为 $\text{HCl}:\text{Xe}:\text{Ne}=1:2.5:2000$,气室气压 $3.546 \times 10^5\text{ Pa}$ 的前提下,激光能量随充电电压的变化如图 3 所示,随着充电电压的升高,能量增大。当充电电压为 52 kV 时,激光最大输出能量为 2 J 。图 4 为激光实验的典型波形,图 5 为输出激光近场光强分布,其面积约 $4\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 。

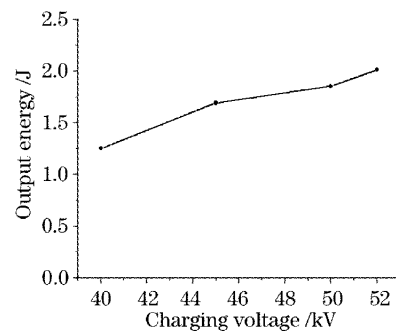


图 3 不同充电电压下的激光能量

Fig. 3 Output energy versus charging voltage

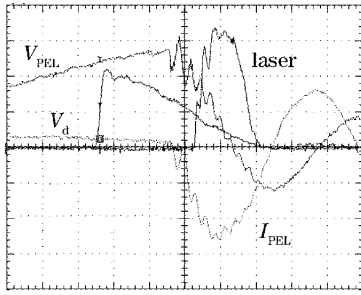


图 4 激光实验典型波形

Fig. 4 Typical experimental waveforms

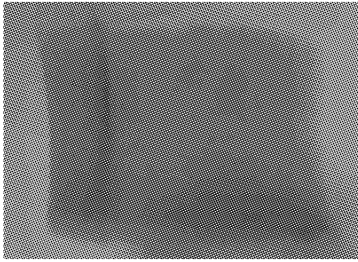


图 5 激光光斑

Fig. 5 Laser pattern

4 结 论

本文所介绍的激光器主要采用了 X 射线预电离激光介质和双放电电路设计,能够产生高能量、长脉宽的激光输出,并在实验中发现 X 射线注入时间对均匀的体放电有较大的影响。研究了激光能量随充电电压的变化关系,测量了该激光器的输出性能,在混合气体的比例为 $\text{HCl}:\text{Xe}:\text{Ne}=1:2.5:2000$,气室气压 $3.546 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的前提下,当充电电压为 52 kV 时,激光最大输出能量为 2 J。

参 考 文 献

- 1 V. A. Basov. Electirc-discharge XeCl laser with 4% efficiency and 14 J output energy [J]. *Quantum Electron.*, 1996, **26** (9): 767~770