

阳极预电离改善准分子激光器放电均匀性

熊旭明 秦玉英 王广昌 张兆平 马树森

(中国科学院安徽光机所七室, 合肥 230031)

提要 提出了准分子激光器阳极预电离方案,并在实验上证实了阳极预电离能有效地改善放电均匀性,同时使激光输出能量略有提高。

关键词 准分子激光器,预电离,放电均匀性

1 引言

随着准分子激光在精细光刻、医学手术、材料加工、薄膜制造等领域的深入应用,激光光束质量受到越来越多的重视。光束的方向性,谱宽及波长的稳定性等可通过适当的光学技术加以改善,而光斑光强分布的均匀性则主要是靠放电的均匀性来保证。预电离技术是准分子激光器实现均匀雪崩放电的重要手段。在迄今为止的准分子激光器产品及有关文献中,预电离都安排在阴极附近,这是考虑到在放电时,电子是由阴极向阳极发展的,阴极处的初始电子对整个放电影响大。这种预电离结构使用至今,是有其合理性,但在研究激光光束质量时,当我们把光束扩束后来研究其光斑的均匀性时,经常观察到在接近阳极的区域,均匀的光斑分裂成许多细密无规则的细丝,虽然这种丝状光强分布的多脉冲平均是较均匀的,但对某些场合的应用仍是不容许的,这部分光斑必须弃而不用。当放电不太好时,阳极处的丝状放电变粗,形成所谓的“雨脚”。在阴极处光斑很均匀,光斑截面向阳极方向发生收缩。我们认为这种现象的发生与预电离安排在阴极附近有关:由于预电离位于阴极附近,不可避免地在放电截面的横向与纵向产生预电离密度的不均匀性。横向的不均匀性可以通过适当的电极面型设计及气体组份选择加以克服,而纵向的不均匀性却难以克服,从而形成从阴极到阳极的收缩光斑。而且电子崩在向阴极及向阳极两个方向发展时,其规律是不同的,由于空间电荷造成向阴极方向发展相对向阳极方向发展具有收缩的趋势^[1],加上阳极处预电离密度低,容易形成丝状放电。在本文工作中,预电离被安排在阳极附近,消除了丝状放电,有效地改善了放电的均匀性。

2 实验设计与结果

为了克服阴极预电离结构形成的丝状分裂,我们将预电离火花安排在阳极附近,这样做是出于下面几点考虑:1) 阴极预电离考虑中“电子在放电时由阴极向阳极发展”在准分子雪崩放电中的重要性值得推敲,在平稳或慢变的汤森德(Townsend)型放电中^[1],放电区域的发展是

通过电子迁移来进行的,而准分子快放电过程中,放电时间极短,气压又高,不但离子可视为不动,就连电子在放电期迁移的距离也很小(约 1 mm),放电区域的发展应由流注理论^[1]来解释。流注理论认为,电子雪崩既可向阳极发展,也可向阴极发展,流注放电可发生在电场中任一点,因此均匀放电要求整个放电体积均匀预电离,仅在阴极附近有较高的预电离密度对整个体积均匀放电的贡献是很小的,文献[2]的实验很好地显示了这一点;2) 阳极预电离会造成与阴极预电离相反的预电离密度分布不均匀性,即在阴极处形成丝状放电,但这种情况会由于阴极表面有较高的紫外光电子产额及电子出来后向阳极运动,而不是象阳极情况那样又被电极吸回去而得到一定程度的弥补;3) 由于电子崩在向阴极方向发展时具有一定的弥散性,能较好地抑制在阴极处形成丝状放电。

为了尽可能在同等条件下比较阴极预电离与阳极预电离对放电均匀性的影响,我们在同一台器件上进行实验,保持放电网络不动,器件结构不变,所配工作气体不动,仅仅是把激光器高压电源的极性改成可变正负,由于没有可耐负高压的闸流管,我们采用无极性火花球隙做高压开关元件,电极面型为 Rogowski 面型,工作气体为 Xe/HCl/Ne = 30 mbar/7 mbar/3000 mbar,光束扩束后由谱板记录,并由光密度计扫描读出光强分布图,由于难以控制曝光在谱板感光曲线的线性部分,故所得曲线有一定的失真,但定性上是准确的。

实验结果是放电均匀性大为改善,图 1、图 2 分别是阴极预电离结构下放电光斑示意图及距阳极 2 mm 处由光密度计扫出的光强分布图,表明在阳极处放电呈丝状分裂。图 3、图 4 分别是阳极预电离结构下放电光斑示意图及距阳极 2 mm 处光密度计扫出的光强分布图,在阴极附近的光强分布与图 4 相似,无论在阳极还是在阴极都观察不到丝状放电,光斑的纵向收缩变小。

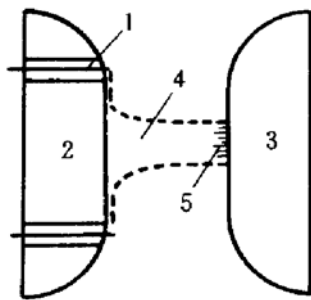


Fig. 1 Diagram of the discharge region with preionization near cathode

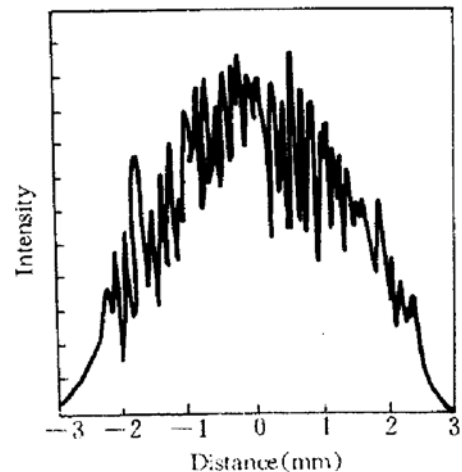


Fig. 2 Transverse distribution of laser intensity at 2 mm from the anode with preionization near cathode

1: preionization pins; 2: cathode; 3: anode; 4: discharge region (or beam section); 5: filamentary discharge region

在本器件上,阴极预电离能实现纯 Ar 放电的最高气压为 1000 mbar,而阳极预电离在同等条件下能实现 1500 mbar 的纯 Ar 放电,可见放电均匀性的改善是很明显的。

图 5 为两种预电离结构下,输出激光能量与电压的关系,可以看出阳极预电离结构比同等条件下阴极预电离结构输出能量为高,而且电压越高,这种差别越明显。阴极预电离结构输出能量随电压的变化在接近 30 kV 时,出现饱和甚至下降;而阳极预电离结构下无此现象,只是增长略变缓慢,其最高输出能量点已超出了我们器件工作范围。阳极预电离能量的增加归因于放电均匀性的改善。

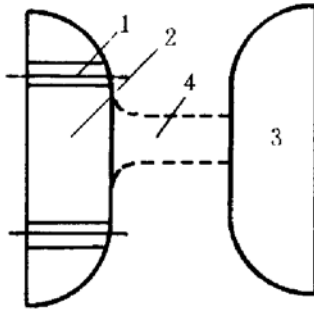


Fig. 3 Diagram of discharge region with preionization near anode

1; preionization pins; 2; anode; 3; cathode;
4; discharge region (or beam section)

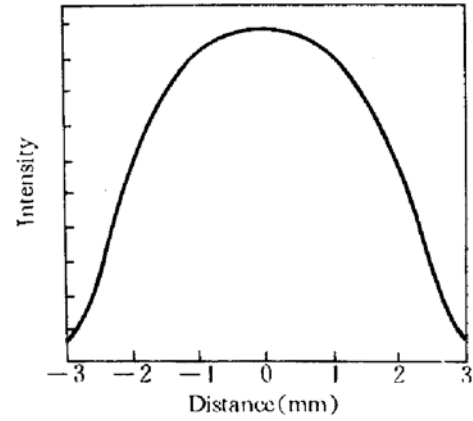


Fig. 4 Transverse distribution of laser intensity at 2 mm from anode with preionization near anode

3 讨论

虽然我们的实验结果表明,阳极预电离结构对放电均匀性及激光能量都有较好的提高,但在实用化上还有一定的限制,这主要是由于现今还没有耐负高压的闸流管,放电的高压开关元件只能用特殊设计的火花球隙,因此对激光器的重复率、抖动率、开关元件的寿命带来限制。若一定要采用闸流管,则储气筒等大体积部件要带上高压,给激光器的设计及安全带带来不便,这是阳极预电离的不足之处。

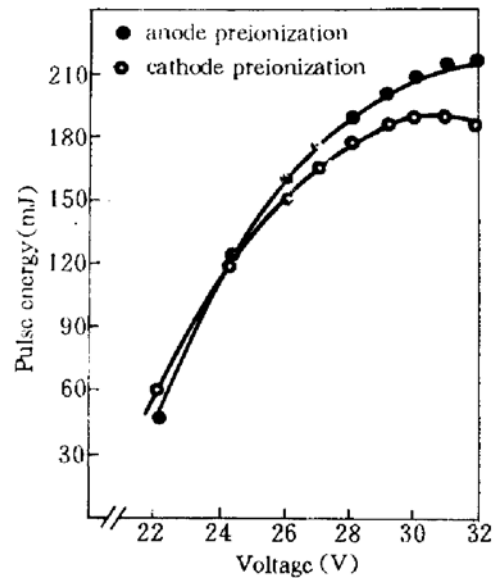


Fig. 5 Laser pulse energy vs. voltage under two types of preionization

参 考 文 献

- 1 扬基津. 气体放电, 北京: 科学出版社, 1980.
- 2 R. S. Taylor. Preionization and Discharge Stability Study of Long Optical Pulse Duration UV-Preionized XeCl Laser. *Appl. Phys.*, 1980, **B41**: 1~24

Preionization near Anode Improves Homogeneity of Discharge in an Excimer Laser

Xiong Xuming Qin Yuying Wang Guanchang Zhang Zhaoping Ma Shusen
(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031)

Abstract The preionization near anode was suggested in stead of preionization near cathode and experiments show that preionization near anode has improved both discharge homogeneity and pulse energy output.

Key words excimer laser, preionization, homogeneity of discharge