

长寿命电晕预电离 XeCl 准分子激光器

刘 达 伟

(中国科学院力学研究所)

快放电泵浦的准分子激光器以其简单、易于实现高重复频率运转等优良特性而成为紫外波段中、小型的主要实用器件之一。本文报道了一种有效的电晕预电离设计,增加了激光输出能量并延长了激光器运转寿命。

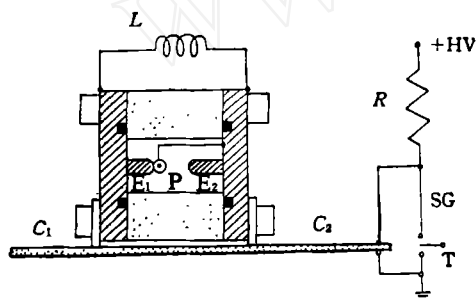


图 1 电晕预电离 XeCl 准分子激光器装置图

图 1 是本试验使用的激光器装置图。激光器放电电极长仅 10cm, 宽 0.32cm, 激励体积 1—2mL。由于准分子激光器原则上可以按比例放大, 故使用小尺寸的激光器装置可以更经济地进行试验。此外, 小尺寸激光器比同样类型大尺寸激光器有较大的面积/体积比, 从而可以在更苛刻的条件下进行寿命研究的试验。放电采用 Blumlein 快放电电路, 电路两端电容由环氧印刷线路板组成, 电容量为 $C_1 = C_2 = 1.2\text{nF}$ 。SG 是低气压充氖火花球隙。激光腔放电电极 E_1, E_2 直接连在金属板加工的腔体两壁上, 以最大限度地减小放电回路的电感量。电晕预电离电极 P 用钨丝穿过石英玻璃管制成, 置于电极 E_1 的前端面, 与 E_2 保持相同电位。总的激光腔内体积为 33 mL, 激光谐振腔间距 17cm。全反射镜为石英基片上镀膜, 输出镜则是一片熔融石英玻璃平板。激光器工作时充气压力在 3—8 atm 间变化, 典型使用的气体比为 He/0.4% HCl/0.5% Xe, 充电电压在 10—20kV 之间变化, 脉冲重复频率为 10Hz。

为了产生高气体压力下的均匀放电, 最重要的技术途径是使用合理的快放电电路和预电离技术。电晕预电离由于不需要另一套触发电源以及结构简单而适用于中小型准分子器件。图 2(a)—(c) 是在 N_2, CO_2 或准分子激光器中采用的几种电晕预电离结构^[1-3]。试验中观察到, (a), (b) 两种电晕预电离结构, 在上

述典型准分子激光运转条件下, 激光放电电极间隙难以超过 5mm, 而且要经过数小时甚至数十小时的放电处理才能达到均匀稳定放电。为此, 本试验采用一种改进的电晕预电离结构, 如图 2(e), 2(f) 所示。它是把预电离电极放在一根激光主放电电极 E_1 的前端面, 当触发球隙导通, 随着 C_1 上电位的迅速降低, 在预电离电极 P 与主放电电极 E_1 之间将产生大的电位差, 从而导致 P 与 E_1 之间的电晕放电。放电迅速扩展, 在石英管外表面上形成一层均匀等离子层。电晕放电引起激光介质整个体积中的均匀预电离, 随着 C_1 上电位的进一步下降以及预电离电子造成激光介质阻抗变小, 主放电在 E_1 与 E_2 之间发生。有趣的是, 不导电的石英管由于其形成一个等离子体外壳, 从而可以有效地传递主放电能量。当调换 E_1 与 E_2 的极性时, 仍然得到基本相同的结果。这说明, 紫外光子造成的均匀体积预电离是导致主放电的主要原因, 这与文献[4]的分析不同。另外, 用于电晕预电离的能量只占主放电能量的很小一部分。

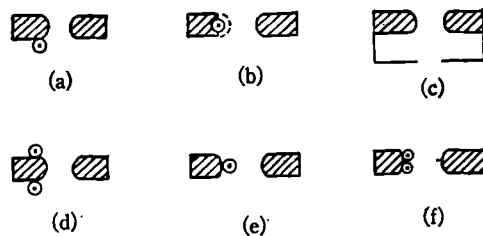


图 2 各种类型的电晕预电离结构

(a) 单侧边式; (b) 网阴极式; (c) 表面电晕预电离式; (d) 双侧边式; (e) 前端面式; (f) 前端面双预电离电极式

采用前端面电晕预电离结构后, 在充气气压为 5atm 的同样运转条件下, 能产生稳定均匀放电的电极间隙从 4.5mm 增加到 7.3mm, 而且预放电处理时间也大大缩短。如果使用两根预电离电极, 则主放电电极间隙几乎增大一倍, 相应的激光输出光斑也增宽近一倍, 这说明采用新的预电离结构后, 可以获得较大体积的均匀放电。图 3 给出不同的电晕预电离结构情况下的激光输出能量与充电电压的关系。可以看出, 本文采用的结构在同样工作条件下有较高的输出能量和效率(其中曲线(d)的试验气体配比略有不同)。这

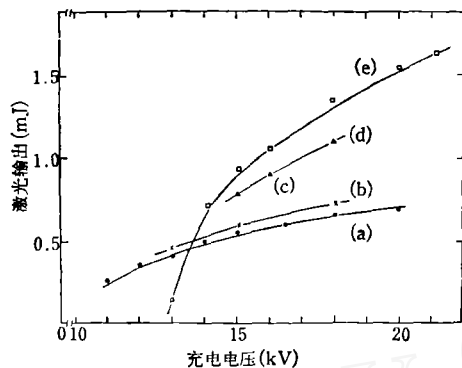


图3 激光脉冲输出能量与充电电压的关系
曲线(a), (b), (d), (e) 分别对应于图2相
同符号的预电离结构

可能是因为较大的放电间距, 对应于较高的放电等离子体阻抗, 从而使更多的放电能量贮入增益介质中造成的。

准分子器件至今未能得到更广泛应用的主要原因是其相对短的寿命和使用腐蚀性的有毒气体。XeCl准分子激光器在准分子器件中有最长的运转寿命和较小的腐蚀性, 是实用化的高功率、长寿命器件。改进的电晕预电离结构的另一个很重要优点是大大减轻了放电溅射造成的污染。在采用网阴极型电晕预电离或者火

花放电紫外预电离结构时, 在不光滑的电极表面放电会产生较多的溅射物质。这些溅射物质和“新鲜”的电极表面又很容易和卤族元素形成金属卤化物, 从而消耗了准分子形成所需的卤族施主, 又污染了激光腔体和镜片。经过改进的预电离结构可以部分地解决这一难题。由于主放电电极是光滑的金属表面, 预电离电极外表面是石英材料, 因而产生相对“温和”的放电, 从而延长了准分子激光器的工作寿命。单次充气寿命(至半功率输出点时)在10Hz, 重复频率时达六小时以上。在某次试验中, 加接贮气罐以后, 每天更换部分工作气体, 该器件运转寿命已超过200小时, 输出功率下降约20%, 激光腔镜片略有污染。而在采用网阴极电晕预电离结构时, 激光腔镜片污染较快, 大约在90小时连续工作后, 输出功率下降20%。

参 考 文 献

- [1] R. C. Sze and Z. Seggmiller, *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-17 (1981), 81.
- [2] T. S. Fahlen, *J. Appl. Phys.*, 49(1978), 455.
- [3] V. Hasson et al., *Appl. Phys. Lett.*, 31(1977), 167.
- [4] A. K. Laflamme, *Rev. Sci. Instrum.*, 41(1970), 1578.

(上接封三)

$$PV = f(T), \quad (1)$$

其中 $f(T)$ 是绝对温度 T 的任意函数。然而, 实际上函数 f 的形式并非任意。E. A. Guggenheim 曾根据实际气体在低压极限下 $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$ 保持有限的经验事实提出了实际气体的第一维里系数只能是 T 的线性函数的假设, 并以此作为绝对温度测量理论的依据^[2]。在统计物理学中, 如果假定气体分子具有有限的作用力程, 也能导出第一维里系数是 T 的线性函数的结论^[3]。由于(1)式右方只能是 T 的线性函数, 不存在这样的实际气体, 它近似地遵守玻意耳定律, 却显示出与焦耳定律有显著偏离。

至于焦耳定律与玻意耳定律是否独立, 不

同的场合可以有不同的答案。在用演绎方法阐明热力学理论的推论时, 人们不考虑热力学三定律以外的其它自然律的制约, 这时我们可以认为焦耳定律独立于玻意耳定律。但在讨论热力学的具体现象时, 考虑还是不考虑其它自然律的制约, 往往会导致不同的结果。文献[1]的分析可以作为这方面的一个例证。

参 考 文 献

- [1] 顾雁, *物理*, 13-6(1984), 377.
- [2] F. A. Guggenheim, *Thermodynamics*, 3rd edition, North-Holland Publishing Company, (1957), 110; *Handbuch der Physik*. Band III/2, Springer-Verlag, (1959), 23.
- [3] 汪志诚, *热力学·统计物理*, 人民教育出版社, (1980), 300.