

双重预电离准分子激光器

黄南堂 陆建一 徐积仁

(中国科学院物理研究所)

准分子激光器是强紫外输出的高效率器件,由于它在激光化学、大规模集成电路及生物领域内的应用价值,已受到普遍重视。当前国内已有一些器件逐渐开始走出实验室,但某些性能还不够理想,有待进一步改进。双重预电离准分子激光器的研制对提高器件的性能有着直接的或间接的意义。因为在准分子激光器中预电离的效果对器件的性能影响很大,电晕和紫外双重预电离技术可以得到比较充分的预电离,使激光腔中高压大体积放电更为均匀和稳定,对增加激光输出能量、降低输出能量的不稳定性以及提高整体效率都是极为重要的,也有助于高重复率器件的研制。

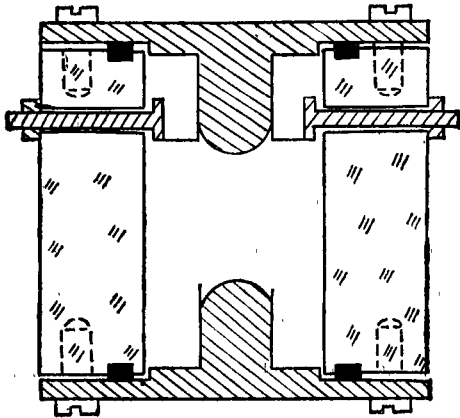


图 1

图 1 表示双重预电离准分子激光器的腔体结构。电极由黄铜制成,表面镀镍,电极间距 2.7 cm。两根电极形状相同,长 46 cm,宽 1.2 cm,表面呈圆形曲率,曲率半径 6mm。电极两边贴上 0.1 mm 薄铜皮,形成尖端,起电晕预电离作用,尖端的高度不能超过电极圆弧面的顶部,一般低 1—2 mm,以防止电极和薄铜皮尖端放电。在阴极两侧距薄铜皮顶部 1 mm 处是两排紫外预电离针,每两个针的间距为 15 mm,两排针的相对位置错开,造成实际间距为 7.5 mm,共 55 个针。放电时在针和薄铜皮顶部尖

端产生火花,由于火花非常靠近放电区,又很密集,紫外辐射的离化作用十分明显,因此预电离效果非常好。采用能量转移式电路连结^[1], 14 个 2200 pF 陶瓷电容器直接连在电极两端作为倒空电容(也称峰化电容)。储能电容由七个 0.01 μ F 纸介油浸低感电容器并联,通过 55 个小电感分别与每一个针相连,构成回路。放电过程中,储能电容上的能量转移到峰化电容时,首先在预电离针和阴极两侧薄铜皮顶部尖端形成火花,然后引起两电极之间的辉光放电。放电回路的连线均为大面积薄铜皮,结构紧凑,所有部件(包括充电电源、控制电路和充气管道、腔体等)安装在一个体积为 400 × 750 × 250mm³ 的机壳里。

给器件以不同的工作气体,分别得到 XeCl, KrCl, KrF, XeF, ArF 和 F 原子的激光输出。我们对其中的 XeCl, KrF 和 KrCl 激光输出进行了测试。在工作电压为 30kV 和大气压力为 3.5atm 的条件下,获得 XeCl 激光输出最大单脉冲能量为 310 mJ。图 2 分别给出以 Ne, He 和 Ar 作稀释气体时, XeCl, KrF, KrCl 的激光输出能量与工作电压的关系。图 3 给出工作电压固定为 30kV 时, XeCl 激光输出能量与工作气压的关系。测量时所使用的能量计是经过校准的,型号为 N_J-J₁。激光波形用强流管配合 SS-6300 宽带示波器记录下来。测得的脉冲半高宽为 10 ns,底部宽度为 26 ns,在 20 ns 处有一个小峰,高度为主峰的三分之一。

为了考察放电电路对器件性能的影响,在装置上试验了两种不同结构的能量转移式电路。其中之一为前面所描述的连结法,预电离火花由储能电容通过每个小电感产生。另一种连结是取消小电感,预电离火花由每个峰化电容器产生。试验结果发现,虽然电路结构不同,但器件所获得的各项性能却相同。这是因为预电离的针的数目没有改变,两种电路的预电离

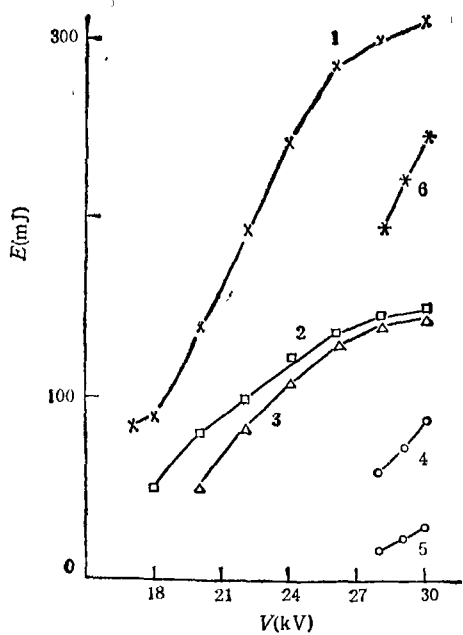


图 2

1. HCl: 6 Torr, Xe: 60 Torr, Ne: 3.5 atm; 2. HCl: 6 Torr, Xe: 60 Torr, He: 2.9 atm; 3. HCl: 6 Torr, Xe: 60 Torr, Ar: 1.5 atm; 4. HCl: 6 Torr, Xe: 60 Torr, Ar: 2.0 atm; 5. HCl: 6 Torr, Kr: 153 Torr, He: 2.6 atm; 6. F₂: 9 Torr, Kr: 270 Torr, He: 180 Torr, Ne: 3 atm

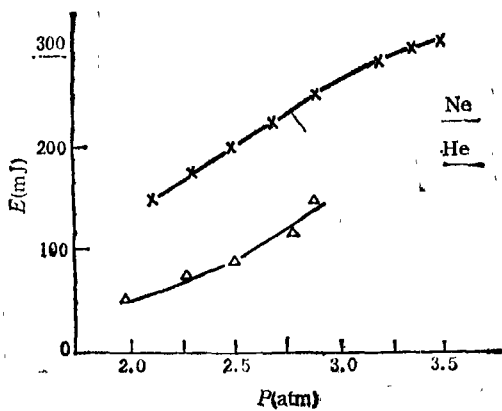


图 3

(HCl: 6 Torr, Xe: 60 Torr)

效果一样,说明预电离是决定器件性能的关键。由于后一种连结法需要55个陶瓷电容器,而前一种连结法只要14个陶瓷电容器,因此用小电感退耦产生紫外预电离的方法更为简便。

实验中曾经去掉作为电晕预电离的薄铜

皮,让预电离针尖直接和阴极侧面放电,观察到激光输出能量和放电均匀性有明显下降。

根据上述的初步实验结果,作以下讨论:

(1) 在腔长为 52 cm, 激活体积为

$$42 \times 2.7 \times 0.4 \text{ cm}^3$$

中获得 310 mJ 的 XeCl 激光输出,这对于快放电器件来说已具有相当的体效率,但由于本装置的高压电容器耐压的限制以及腔体承压能力的限制,器件的激光输出能力还没有充分发挥出来。从图 2 和图 3 可以看出,输出能量没有达到饱和值。

(2) 一般说来, KrF 应该比 XeCl 激光能量大得多。但图 2 中 KrF 的能量比较低,其原因首先是 KrF 需要比 XeCl 更高的工作电压,在 30 kV 时正是能量直线上升区,其次是所使用的氟气纯度比较低。

(3) XeCl 用 Ne 稀释时效果最佳,用 Ar 稀释总气压可以降低。从图 2 中可以看到用 Ar 稀释和用 He 稀释结果差不多。实际上三种稀释气体都有一个最佳气压^[2],在这个气压下激光输出能量最大。如果用 2 atm 的 Ar 进行稀释,得到的最大能量不一定比用 Ne 稀释小,但此时需要加更高的工作电压。在图 2 中,充 2 atm 的 Ar 时,激光起始振荡电压为 28 kV,而用 Ne 稀释只要 18 kV 就有能量输出。

(4) 激光脉宽比较窄可能和放电特性有关,充分的预电离可以降低放电区等离子体阻抗,使放电脉宽变窄。

(5) 器件中储能电容和峰化电容都是国产电容器。储能电容是纸介油浸电容器,型号为 C804,虽为无感绕法,但仍有较大的电感。峰化电容采用价格便宜和温度系数较大的一种陶瓷电容器,使用在本装置上后仍能得到 5% 的单脉冲能量稳定性和 6.8 J/l 的体能密度。由此可见,良好的预电离效果可以降低对元件的要求,便于实现器件的国产化。

参 考 文 献

- [1] 张治国、韩全生、黄南堂,物理, 12-4(1983), 231.
[2] 郑承恩,光学学报, 3-6(1985), 525.