

文章编号: 1001-3806(2003)01-0065-03

充氩气毛细管的阻抗特性*

刘 鹏 王 骐 赵永蓬

杨大为

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨, 150001) (中国原子能科学研究院, 北京, 102413)

摘要: 首次给出了实验测得的充氩气毛细管的阻抗特性曲线, 这对于寻找毛细管放电泵浦 X 光激光的最佳放电条件具有十分重要的作用。

关键词: 毛细管放电; X 光激光; 毛细管阻抗特性

中图分类号: TN248.2⁺1; O434 文献标识码: A

Impedance characteristic of capillary filled with Ar gas

Liu Peng¹, Wang Qi¹, Zhao Yongpeng¹, Yang Dawei²

(¹ Institute of Optoelectronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

(² Atomic Energy Academy of Sciences of China, Beijing, 102413)

Abstract: In this paper, impedance characteristic of capillary filled with Ar gas is first presented in the experiment. This is very important for capillary discharge pumped X ray laser experiment to find optimal discharge condition.

Key words: capillary discharge; X ray laser; impedance characteristic of capillary

引 言

近年来出现的毛细管放电泵浦 X 光激光方案是一种小型化的 X 光激光方案, 研究已取得了很大进展。1999 年, 美国 Colorado 大学的 Rocca 小组用长为 34.5cm 的陶瓷毛细管, 已获得重复频率 4Hz、平均输出能量 0.88mJ 的类氩氩 46.9nm X 光激光饱和输出^[1]。以色列的 ABerr Kish 研究小组^[2]在 2000 年, 以及日本的 Hotta. Eiti 小组^[3]在 2001 年也分别获得了毛细管放电类氩氩 46.9nm X 光激光输出。

毛细管阻抗特性是设计毛细管放电 X 光激光装置时所必须考虑的重要参数, 它将决定放电后加在毛细管上的电压、电流波形形状及幅值大小。同时, 它对于寻找泵浦 X 光激光的最佳放电条件也具有十分重要的作用。笔者的工作主要是利用已研制成的毛细管放电装置^[4], 对充氩气毛细管的阻抗特性进行实验研究, 得到了不同长度毛细管在不同充电电压下的阻抗特性曲线。从实验中获得的这些数据, 对进一步优化实验装置, 获得泵浦 X 光激光的

最佳放电条件具有重要意义。

1 实验装置

充氩气毛细管的放电实验装置如图 1 所示。

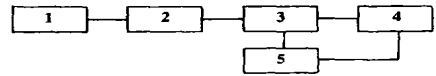


Fig. 1 Capillary discharge experimental setup

1- Marx generator 2- Blumlein line and main switch 3- capillary discharge cell 4- measurement system 5- vacuum system

Marx 发生器由十级电容器组成, 串联电容为 16.0nF, 串联电感约 2μH, 串联放电电阻约 3Ω, 最大输出电压 300kV。

Blumlein 线采取等阻抗设计, 输出脉冲半高宽 $\tau = 35\text{ns}$ 。Blumlein 线的绝缘介质采用去离子水, 电阻率 $\rho \approx 1 \sim 2\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 。Blumlein 线等效电容 $C_B = 7.3\text{nF}$ 。主开关为圆环-圆盘型气体开关, 充入 0.2 ~ 0.5Mpa 氮气。

毛细管放电室内放置毛细管。毛细管采用聚乙烯材料制成, 其内径为 4mm, 外径为 14mm。采用了在固定长度毛细管中插入不同长度铜棒来获得各种长度毛细管气柱的方法, 铜棒电感还可以对毛细管总电感起一定补偿作用。

测量系统主要包括 TDS380 低压数字示波器、硫酸铜电阻分压器和回流器。硫酸铜电阻分压器用

* 国家自然科学基金资助项目。

作者简介: 刘 鹏, 男, 1972 年 1 月出生。博士研究生。研究方向是短波长激光、X 射线激光。

收稿日期: 2002-04-08

于测量毛细管电压信号,其分压比为 2518 倍。回流器即低欧姆的电阻器,用于测量毛细管放电电流,其阻值为 0.784mΩ。

真空系统由 FB450 型涡轮分子泵和 2XZ 8 型直联旋片真空泵组成。实验时,首先把毛细管处真空抽到 10⁻⁴Pa 量级,再充入 80Pa 左右的氩气进行放电实验。

2 实验结果及分析

由于在放电过程中毛细管的电感值和电阻值均随时间变化,因此,无法单独分析它们对毛细管总阻抗的影响,只能把二者结合起来。通过测量毛细管处的电压和电流波形,可以得到毛细管总阻抗特性 $Z(t) = u(t)/i(t)$ 。由于电流波形必然比电压波形相位要滞后一些,故要想使测量准确必须要把电压和电流的起始相位测准确。经计算,毛细管处的电流信号比电压信号要滞后约 6ns,因此,将记录电压波形的电缆线比记录电流波形的电缆线加长 120cm,即可保证电流和电压波形几乎同时到达示波器,并无相位延迟。图 2 为充氩气毛细管的放电实验结果,其中 R_1 和 R_2 通道分别为毛细管放电电流和电压波形。进行数据处理后即可得出毛细管阻抗特性曲线。图 3~ 图 7 为 5 种不同长度(10~22cm)毛细管,在不同充电电压 17.22~22.39kV(交流表 130~170V)下的一组毛细管阻抗特性曲线。

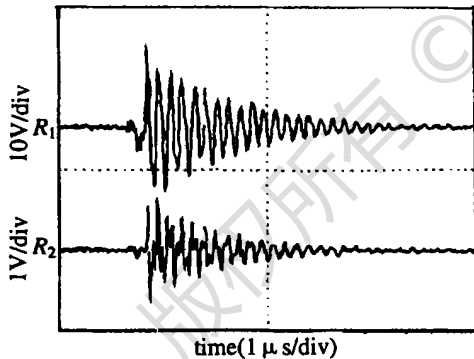


Fig. 2 Waveform of output current and voltage at Ar gas capillary load

需要说明的是,图中每一个数据点都是经过多次测量以后的平均值,但由于同一个坐标系下有 5 条曲线,如果每一个数据点都给出误差值势必使图形变得十分混乱而无法分辨,因此,只给出了某一曲线的数据误差范围作为代表,如图 3 和图 8。

从图 2~ 图 7 可以看出,尽管不同长度毛细管的阻抗特性曲线有所不同,但变化规律及趋势是相同的:随着毛细管放电电流的增加,毛细管阻抗随之

减小,大约在放电时间开始后 60~70ns,毛细管阻抗达到最小值,同时毛细管电流达到峰值。在 80ns 以后,毛细管阻抗迅速增大,大约经过 20~30ns 即完全崩溃,这是由于毛细管等离子体被箍缩到最小半径后,等离子体壳发生坍塌的缘故。另外,还可以看出,实验测得的毛细管阻抗特性曲线与最初设计毛细管放电装置时关于毛细管阻抗的推断是相符的,这验证了本实验装置设计的合理性。

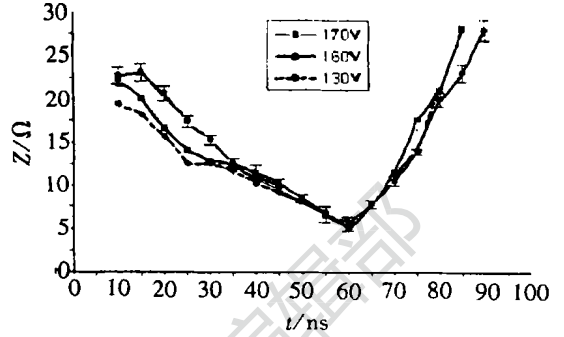


Fig. 3 Curve of impedance characteristic of capillary filled with Ar gas (10cm)

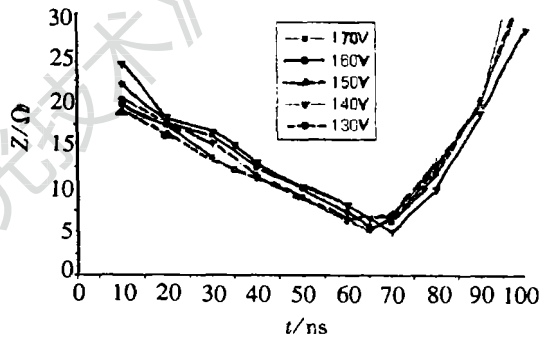


Fig. 4 Curve of impedance characteristic of capillary filled with Ar gas (12cm)

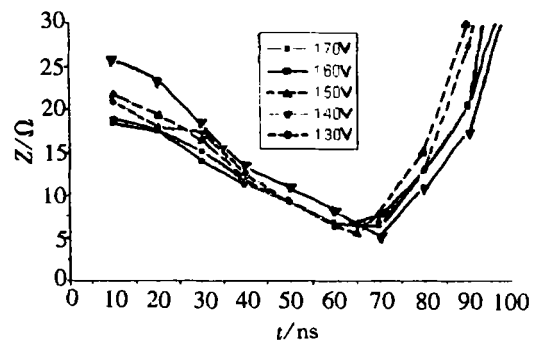


Fig. 5 Curve of impedance characteristic of capillary filled with Ar gas(16cm)

图 8 为相同充电电压 19.80kV(交流表 150V)条件下 5 种不同长度毛细管的阻抗特性曲线比较。从图中可看到,在相同充电电压条件下,不同长度毛细管的阻抗特性变化趋势是相同的,大约在放电电流开始后 65~70ns,毛细管阻抗达到最小,在 70ns

以后,毛细管阻抗迅速增大,直至崩溃。但不同长度毛细管的阻抗大小和变化速率不同,毛细管长度越大,其初始阻抗越大,变化速率也越大。对 10cm 长毛细管,在 10~ 70ns 期间,毛细管阻抗从 9.14Ω 减小到 5.54Ω,而对于 22cm 长毛细管,毛细管阻抗却从 35.5Ω 迅速减小到 5.27Ω。另外,利用这些阻抗特性曲线,可以反推出不同长度毛细管的电感值及阻抗最小时的毛细管电阻大小,结果表明,铜棒电极电感的引入对整个毛细管回路的总电感值的确可起

到一定的补偿作用,也证明了在毛细管设计时所用的用铜棒调节毛细管气柱长度的方法是可行的。

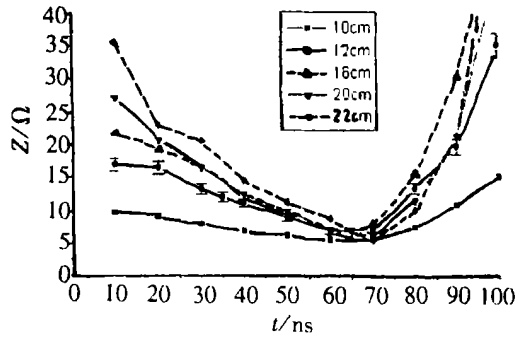


Fig. 8 Curve of impedance characteristic of different capillary in identical charging voltage

3 结 论

从上面的分析可以看到,不同长度的充氩气毛细管在不同充电电压下的阻抗特性曲线不同,但变化趋势是相同的。这一方面可以验证毛细管放电 X 光激光装置设计的合理性,另一方面对笔者优化实验装置设计,并且在未来实验中寻找泵浦类氩氙 46.9nm X 光激光的最佳放电条件具有十分重要的作用。

参 考 文 献

[1] Maxxhietto C D, Benware B R, Rocca J J. *Opt Lett*, 1999, 24 (16): 1115~ 1117.
 [2] Ber Kish A, Nemirowsky R A, Shuker M *et al.* *Proc SPIE*, 1999, 3776: 166~ 174.
 [3] Niimi G, Hayashi Y, Nakajima M *et al.* *J Phys D*, 2001, 34: 2123 ~ 2126.
 [4] 刘 鹏, 余祺琪, 王 骐 *et al.* *中国激光*, 2001, 28(12): 1071~ 1074.

2001, 22(2): 18~ 21.

[4] Klink U. *国外内燃机*, 1998(2): 50~ 53.
 [5] GmbH G, Masch C. *Method of finishing a surface of a workpiece*. USA: B24B1/00. US5441439, 1995 8-15.
 [6] 杜可可, 陈 刚. *河南科技*, 1998(5): 17.
 [7] Corp G M. *Excimer laser treatment of engine bearing surfaces such as cylinders*. USA: B23K26/00. US5072092, 1991 12 10.

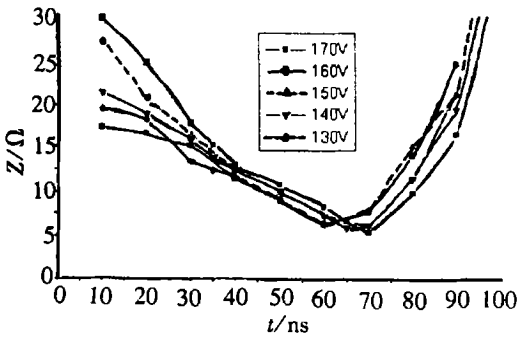


Fig. 6 Curve of impedance characteristic of capillary filled with Ar gas (20cm)

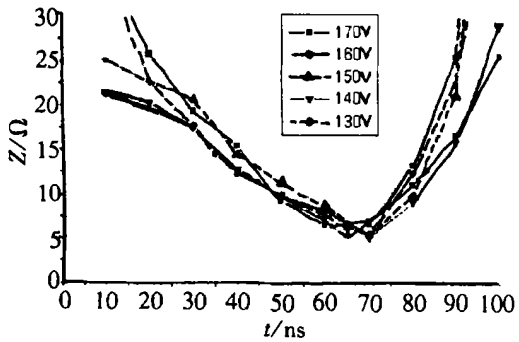


Fig. 7 Curve of impedance characteristic of capillary filled with Ar gas (22cm)

(上接第 61 页)

参 考 文 献

[1] 林子光. *润滑与密封*, 2000(6): 15~ 16.
 [2] 林子光. *金属热处理*, 1999(3): 26~ 28.
 [3] 徐方大, 陈朝晖, 张永康. *江苏理工大学学报(自然科学版)*,