

文章编号:1000-5463(2005)01-0051-04

等离子体诊断仿真实验设计

王鑫, 吴先球, 肖化, 梁超均, 陈俊芳

(华南师范大学物理与电信工程学院, 广东广州 510631)

摘要: 用 Flash MX 制作了静电探针法诊断等离子体参数的远程仿真实验, 设计了能独立操作并相互关联的实验仪器, 提供了接近真实的操作界面, 实现了等离子体有极放电、单探针诊断和双探针诊断的实验仿真。

关键词: 等离子体; 诊断; Flash; 仿真实验

中图分类号: O411 **文献标识码:** B

DESIGN OF SIMULATION EXPERIMENT FOR PLASMA DIAGNOSIS

WANG Xin, WU Xian-qi, XIAO Hua, LIANG Chao-jun, CHEN Jun-fang

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: In order to make students know the plasma production and fundamental character, a remote simulation experiment of plasma diagnosis with electrostatic probe was designed by using Flash MX. The simulation experiment is accordance with the real one's interface. Every instrument not only can be manipulated independently but also associates with one another. Discharge with pole, diagnosis with single probe and double probes have been implemented.

Key words: plasma; diagnosis; flash; simulation experiment

等离子体^[1]是物质在高温或特定激励下的一种状态,是除固态、液态和气态以外,物质的第四态。它是由大量正负带电粒子和中性粒子组成,并表现出集体行为的一种准中性气体。在充有稀薄气体的放电管两端插入两根钨丝作为发射电极,加上直流高压,将会产生少量自由电子,这些电子被电场加速与气体原子碰撞产生更多的自由电子,引起雪崩式电离,发生放电,从而产生等离子体。这种采用发射电极的放电方式称为有极放电。随激发高压的增加依次产生暗放电、辉光放电和弧光放电3个状态。诊断等离子体应在辉光放电状态,最常见的诊断方法是静电探针法^[2,3],将诊断探针伸入到等离子体内部,通过改变探针上的直流偏压得到相应的电流从而得到伏安特性曲线,由曲线算出等离子体的电子温度、离子浓度等参数。按探针数目的不同,可分为单探针法、双探针法和三探针法等。

诊断技术是等离子体技术的基础,已成为一个重要的物理教学实验,而这类教学实验设备

收稿日期:2004-08-30

基金项目:全国教育科学十五规划资助项目(ECB030477);广东省教育科学十五规划青年课题资助项目(GQA02003)

作者简介:王鑫(1978-),男,天津人,华南师范大学2004级博士研究生,E-mail:znwangxin@163.com.

在普通高校并不多见. 为了让学生了解等离子体的产生方式、基本性质, 掌握静电探针诊断法, 本文用 Flash MX 设计和制作了静电探针法诊断等离子体参数的远程仿真实验, 实现了等离子体产生、放电、诊断等实验内容的仿真, 在网上实现了该实验的教学资源共享.

1 实验设计

Flash 是为网页动画而设计的, 用其进行实验过程仿真, 可谓别具一格, 主要表现在 (1) 它是基于矢量的图形系统, 美观而且占用磁盘空间小; (2) 它具有灵活的面向对象特性, 可以设定、控制和管理对象; (3) 它提供了功能强大的 Actionscript 编程语言; (4) 它使用插件方式工作; (5) IE 浏览器集成 Flash 播放器, 便于远程访问. 本文利用 Flash 的这些优点通过编程进行仿真实验设计.

图 1 是仿真实验结构, 图 2 是实验界面. 当学生访问等离子体诊断仿真实验网页时, 先浏览实验目的、原理、仪器、步骤、操作说明等. 实验仪器包括直流电源、放电管、高压发生器、万用表、转向开关. 采用 Flash 中的按钮与 Actionscript 技术, 仪器旋钮可调, 调用 Flash 的随机函数, 仪器读数有随机误差, 使仪器的仿真更真实. 实验内容分为有极放电、单探针诊断、双探针诊断 3 部分, 实验界面的切换通过拆接导线实现.

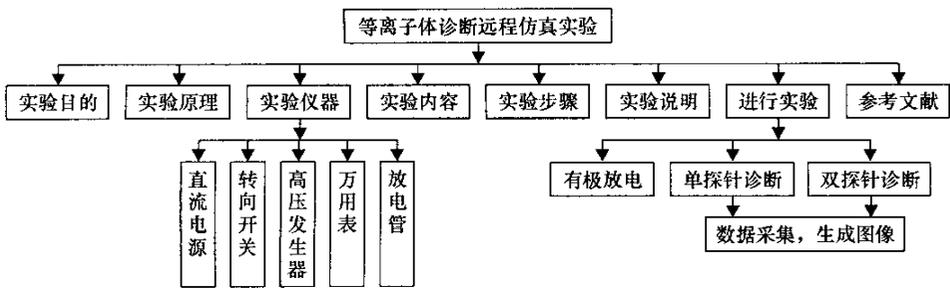


图 1 等离子体诊断仿真实验结构

2 实验内容

2.1 有极放电

等离子体有极放电在不同的电压下处于不同的状态. 随着激发高压的增加, 等离子体电离程度增加, 放电管依次经过暗放电、辉光放电、弧光放电 3 个状态. 进行有极放电实验时 (见图 2), 调节激发电压 (DH1718D-4), 观察激发电压表和万用表的读数及放电管颜色亮度变化. 在暗放电时, 管内稀薄空气开始电离, 放电管整体为暗紫色; 弧光放电时, 电离程度很高, 放电管中间是亮白色, 管壁附近为淡紫色; 辉光放电的颜色、亮度介于这两种放电之间.

总的来说, 随激发电压的增加, 放电管越来越亮, 紫色越来越淡.

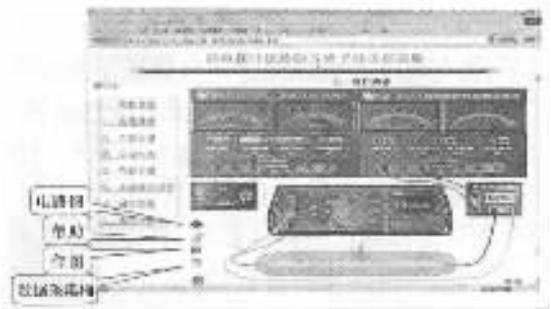


图 2 有极放电实验界面

通过实验数据记录,获得等离子体有极放电的 $I-V$ 曲线(见图 3)。在高压发生器出现第一个电压峰值前为暗放电,第二个电压峰值后为弧光放电,两个电压峰值之间为辉光放电。

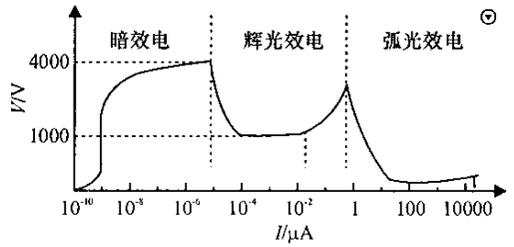


图 3 等离子体有极放电的 $I-V$ 曲线

2.2 单探针诊断法

(1)首先按图 4 接线,接通电源 DH1718D-3 和 DH1718D-4。

(2)慢慢调节高压,按有极放电实验内容使放电管进入辉光状态。

(3)调节诊断电压,使探针上的电压由零开始增大,每隔 2 V 或 4 V 测一个点,并记下相应的诊断电压和电流。实验过程中,按一次“空格键”就能采集一组数据。用户采集了数据,储存桶就会显示填满状态。

(4)将诊断偏压调回零,调节转换开关,让诊断电压为负,重复步骤(3)。

(5)测量完毕,应先将高压和诊断电压的旋钮都调到零再关电源。

(6)用户采集完实验数据后,点击作图按钮,就能自动描点生成 $I-V$ 特性曲线(见图 5),得出偏置电压与电流的关系。据图中数值再套用公式可计算出等离子体的电子温度、离子浓度等参数。

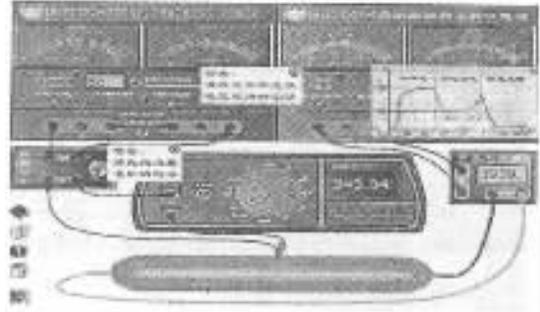


图 4 单探针诊断实验界面

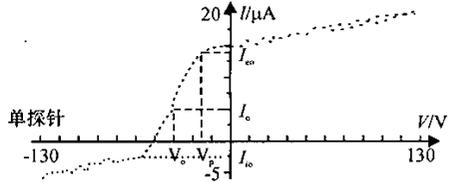


图 5 单探针仿真实验生成的 $I-V$ 曲线

(7)实验数据处理^[4]: e 是电子电量; m_e 是电子质量; K 是玻耳兹曼常数。由曲线得,等离子体空间电位 V_p 为 -22 V ,探针外加电位 V_D 为 39 V ,总电流 I_D 为 $5\text{ }\mu\text{A}$,电子饱和电流 I_{e0} 为 $14\text{ }\mu\text{A}$,离子饱和电流 I_{i0} 为 $-2.5\text{ }\mu\text{A}$,代入电子温度公式:

当 $KT_e = 1\text{ eV}$ 时, $T_e = 11\text{ }600\text{ K}$,所以电子温度为:

$$T_e = 9.87 \times 11\text{ }600 = 1.14 \times 10^5\text{ K},$$

探针有效收集面积 S 为 0.102 cm^2 ,电子质量 m_e 为 $9.1 \times 10^{-31}\text{ kg}$,所以离子浓度为:

$$n_i = n_e = \frac{4I_{e0}}{eS} \left(\frac{\pi m_e}{8KT_e} \right)^{\frac{1}{2}} = 6.52 \times 10^9\text{ cm}^{-3}.$$

实验结果与理论计算结果相符合。

2.3 双探针诊断法

双探针法^[5]就是插入等离子体区域两根完全相同的探针,在这两根探针上加诊断电压,实验方法与单探针相同,界面见图 6。

双探针实验结果 根据公式

$$kT_e = \frac{e}{2} I_{i0} \frac{dU_d}{dI_d} \Big|_{I_d=0} \quad (I_d \text{ 为探针电流}),$$

双探针法的 $I-V$ 曲线分为 3 部分, 分别对 3 部分线性拟合求斜率, 代入公式可得电子温度. 由图 6, 曲线转折点处 I_{i0} 为 $300 \mu\text{A}$, 代入解得 T_e 为 $1.2 \times 10^5 \text{ K}$. 离子的原子序数 Z_e 为 18, 系数 α 为 0.4, 所以离子浓度为:

$$n_i = \frac{2I_{i0}}{aeZ_e S} \left(\frac{m_e}{2KT_e} \right)^{\frac{1}{2}} = 8.3 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}.$$

双探针仿真实验结果也与理论计算结果相符合.

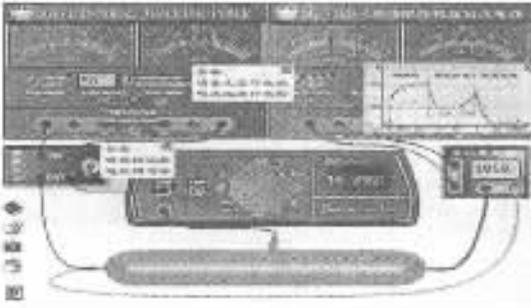


图 6 双探针诊断实验界面

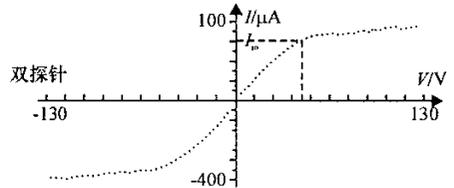


图 7 双探针仿真实验生成的 $I-V$ 曲线

3 结论

(1) 为了让学生了解等离子体的产生方式、基本性质, 掌握静电探针诊断技术, 用 Flash MX 制作了静电探针法诊断等离子体参数的远程仿真实验.

(2) 设计了实验仪器功能, 实现了等离子体有极放电、单探针诊断和双探针诊断的仿真.

(3) 仿真实验为操作者提供了接近真实的操作界面, 方便快捷地处理了实验结果, 体现了实验的物理思想, 符合真实的实验操作.

目前该仿真实验在华南师范大学现代物理技术重点实验室试用, 受到教师、学生的欢迎.

参考文献:

- [1] 克拉尔 N A, 特里维尔皮斯 A W. 等离子体物理学原理 [M]. 北京: 原子能出版社, 1983: 3-5.
- [2] WU X Q, CHEN J F, JIANG ZH M. Computer-controlled system for plasma ion energy auto-analyze [J]. Plasma Science and Technology, 2003(2): 1619-1624.
- [3] 吴 华. 大学近代物理实验 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1992: 128-133.
- [4] 池凌飞, 林揆训, 姚若河, 等. Langmuir 单探针诊断射频辉光放电等离子体及其数据处理 [J]. 物理学报, 2001, 50(7): 1313-1317.
- [5] 陈宗柱. 稳态放电等离子区中电子温度的双探针测量法 [J]. 电子器件, 1995, 18(2): 90-96.