

数据自动采集在等离子体物理实验中的应用

作者：朱骏 合作：伍晔 指导老师：乐永康

摘要：本文使用 Keithley 236 型源测量单元完成了流辉光放电等离子体 Langmuir 双探针实验的数据自动采集，与传统的手工记录方法进行了对比，并分析了该自动记录设备的一些特性和现存的问题。

关键词：自动采集，等离子体，直流辉光，Keithley 236，Langmuir 双探针法

1 引言

等离子体 (Plasma) 是一种由自由电子和带电离子为主要成分的物质形态，广泛存在于宇宙中，常被视为是物质的第四态，被称为等离子态。等离子体具有很高的电导率，与电磁场存在极强的耦合作用。本实验中使用杭州大华仪器制造有限公司的 DH2005 型直流辉光等离子体实验装置，采用 Langmuir 双探针法测量等离子体的密度，温度，德拜长度等参数。

传统的采集方法是逐次调节电压，读取实验仪器面板上的电压与电流数值并手工记录。面对数百个的数据，不仅时间耗费巨大，容易出错，而且与此同时需要关注等离子体管内的气压值，不能使其偏离很大而导致数值的偏移，所以用传统方式做此实验不仅耗时耗力，而且往往数据并不一定理想。而利用仪器自动采集的方式来采集数据，不仅精度高，速度快，而且只需要关注当前的气压值，能够花费比较少的时间得到较为理想的数据。

2 实验原理

2.1 等离子体参数

与本实验有关的等离子体的参数包括等离子体密度，温度以及德拜长度，其定义分别如下：

等离子体密度：单位体积内（一般以立方厘米为单位）某带电粒子的数目。 n_i 表示离子浓度， n_e 表示电子密度。

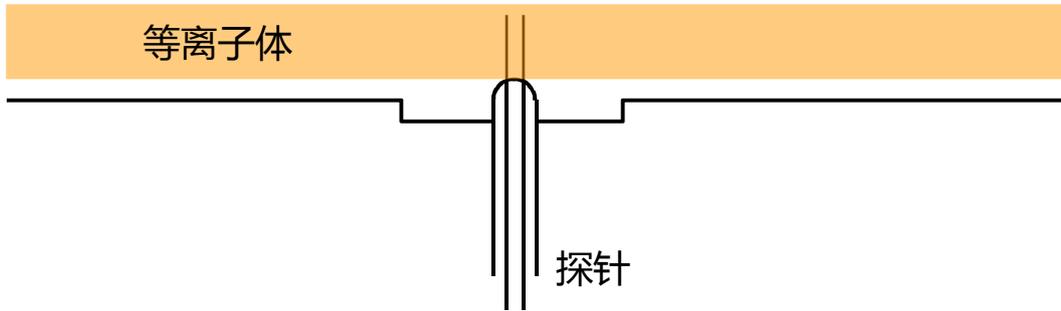
等离子体温度：对于平衡态等离子体（高温等离子体）温度是各种粒子热运动的平均量度；对于非平衡态等离子体（低温等离子体），由于电子、离子可以达到各自的平衡态，故要用双温模型予以描述。一般用 T_i 表示离子温度， T_e 表示电子温度。

德拜长度：等离子体内电荷被屏蔽的半径，表示等离子体内能保持的最小尺度。当电荷

正负电荷置于等离子体内部时就会在其周围形成一个异性电荷的“鞘层”。

2.2 等离子体参数的静电探针诊断原理

本实验用 Langmuir 双探针法测量等离子体的参数。



有以下假设：

- 被测空间是电中性的等离子体空间，电子密度和离子浓度相等，电子与离子的速度满足麦克斯韦速度分布；
- 探针周围形成的空间电荷鞘层厚度比探针面积的线度小，这样可忽略边缘效应，近似认为鞘层和探针的面积相等；
- 电子和正离子的平均自由程比鞘层厚度大，这样可忽略鞘层中粒子碰撞引起的弹性散射、粒子激发和电离；
- 探针材料与气体不发生化学反应；
- 探针表面没有热电子和次级电子的发射。成一个异性电荷的“鞘层”。

如果假设成立，那么对于插入等离子体的双探针有：

定义探针的表面积分别为 A_1 ， A_2 ；电位分别为 V_1 ， V_2 ；电压 $V = V_1 - V_2 \geq 0$ ；流过探

针的离子和电子电流分别为： i_{1+} ， i_{1-} ， i_{2+} ， i_{2-} 。因为双探针悬浮在等离子体中，所以：

$$i_{1+} + i_{1-} + i_{2+} + i_{2-} = 0$$

可推得：

$$\frac{i_{1+} + \frac{I}{2}}{i_{2+} - \frac{I}{2}} = \frac{A_1}{A_2} \exp\left(\frac{eV}{kT_e}\right)$$

所以：

$$\frac{dI}{dV}\Big|_{I=0, V=0} = \frac{eI_i}{2kTe}$$

最终，可以得到：

电子温度:

$$T_e = \frac{eI_i}{2k \frac{dI}{dV}|_{I=0, V=0}}$$

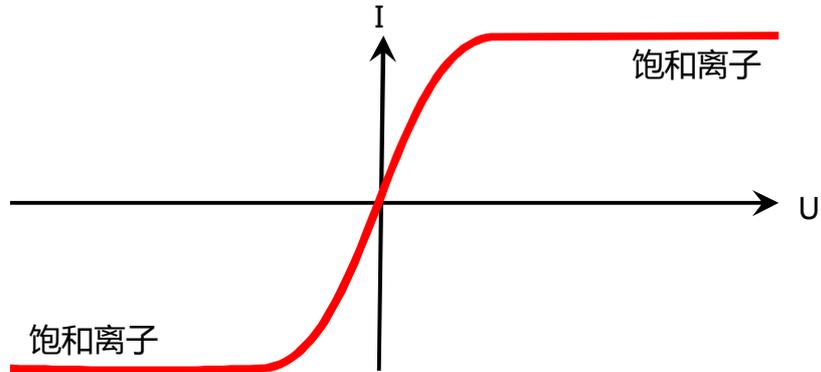
等离子体密度:

$$n = \frac{I_+}{\sqrt{\frac{kT_e}{m_i}}}$$

德拜长度:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{kT_e}{2me^2}}$$

理想的双针探测曲线如下:

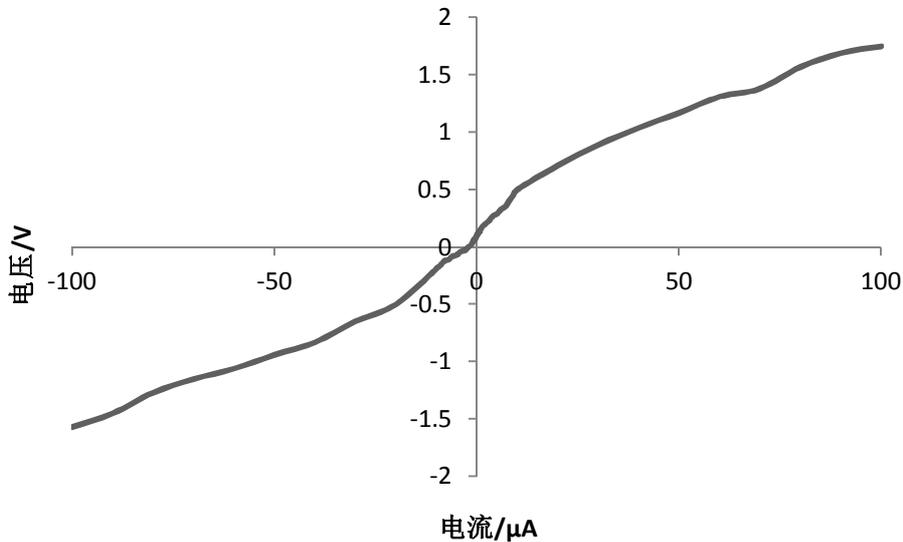


3 软硬件介绍

实验仪器采用的是杭州大华仪器制造有限公司研制生产的 DH2005 型直流辉光等离子体实验装置。采集设备采用的是 Keithley Instruments Inc.生产的 KEITHLEY236 型源测量单元，其精度很高。作者自行编写了电脑端的数据采集软件，能够做到输出 $-110V \sim +110V$ 并对其电流进行扫描记录。

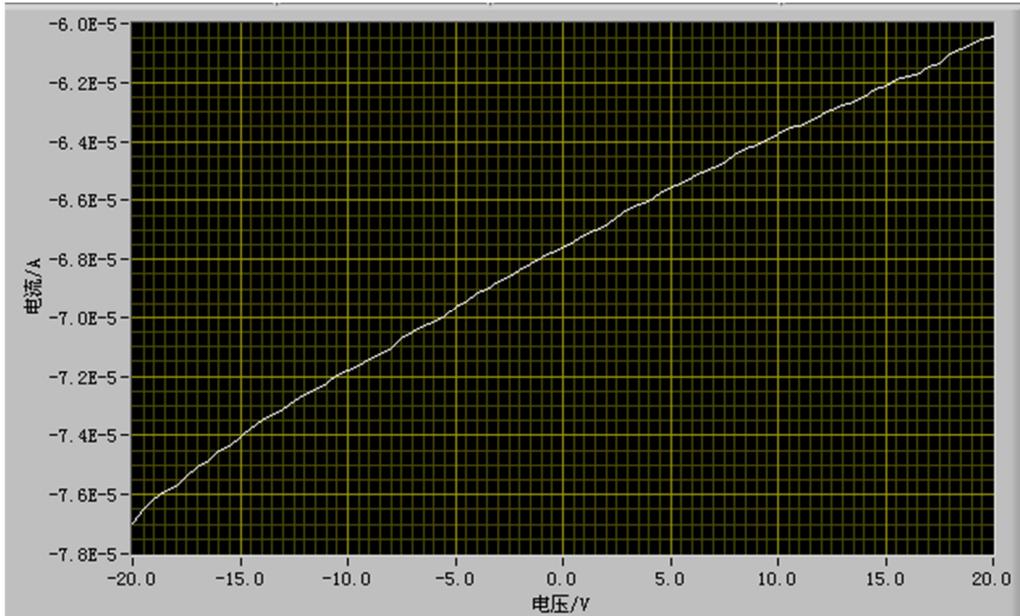
4 结果分析

首先是手工调节参数并记录的实验结果:

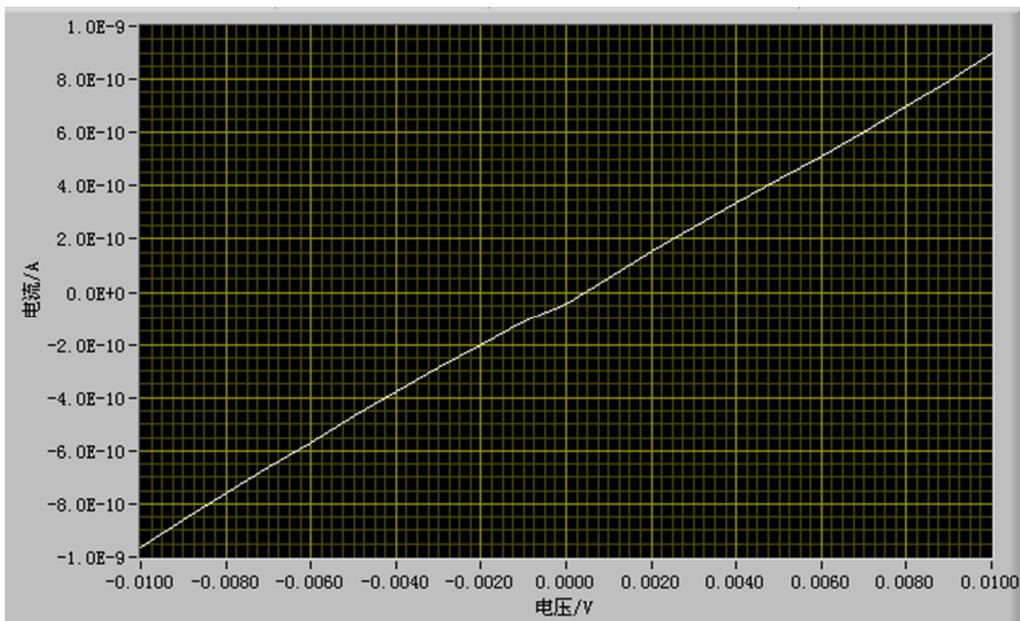


可以发现曲线两侧一直有比较平缓的起伏,这有部分原因是由于管内气压的不稳定造成的,仅此一组数据就测了超过半小时。

下图是利用自建的数据自动采集平台得到的实验数据:



图中可以发现图线并没有在接近零点发生斜率的变化。在用万用表测量确认了各个接口的值都没有问题后,我们认为这可能与噪声有一定的关系,于是取阻值为 $10M\Omega$ 的电阻进行测量如下:



经过调试,发现噪声信号十分小,在参数调节适当的情况下噪声的大小在 $0.3nA$ 的量级,不会对实验信号的采集产生影响。我们也测试了外部的电磁信号干扰的情况,但是无论是否有屏蔽,都没有发现有噪声信号。

我们能想到的情况就是 Keithley236 仪器内部的电路会对此实验的测量产生一定影响,

具体的影响情况还需要进一步的研究。

5 总结

总的来说,虽然在测量等离子体参数的实际测量过程中还存在一定的问题,但是这套包含输出源以及探测器的自动数据记录设备平台还是相当成功的。它作为一个平台,凭借其极高的精度,可以用来测量其他各个实验的参数并作为电流不大的一个输出源,应用范围很广,有进一步利用的价值。

6 致谢

感谢我实验的合作伙伴**伍晔**在实验过程中的默契配合,感谢**乐永康**老师的悉心指导大力帮助以及在实验过程中提出的各种意见建议,感谢**复旦大学物理教学实验中心**提供的等离子体实验设备,KEITHLEY236源测量单元等实验所用的所有仪器设备。

7 参考文献

- [1] **E. O. Johnson** and **L. Malter**, *A Floating Double Probe Method for Measurements in Gas Discharges*, *Physical Review*, 1950.10.01
- [2] *KEITHLEY Model 236/237/238 Source Measure Units Operator's Manual*, Keithley Instruments Inc.
- [3] *KEITHLEY Model 236/237/238 Source Measure Units Quick Reference Guide*, Keithley Instruments Inc.
- [4] *KEITHLEY Model 236/237 Source-Measure Units Applications Manual*, Keithley Instruments Inc.