

等离子体电子温度测量改进

摘要

温度由粒子平均动能决定，有时也直接用粒子平均动能来表征温度，如 $1\text{eV}=11600\text{K}$ 。某种粒子达到热力学平衡是指同种粒子之间通过碰撞实现了能量的有效传递，从而表现为特定均一的温度。在等离子体中，电子与电子容易通过碰撞达到热力学平衡，离子与离子容易通过碰撞达到热力学平衡。而电子与离子之间由于质量悬殊不容易通过碰撞实现能量的有效传递，也就不容易达到热力学平衡，所以描述等离子体的温度须引入电子温度和离子温度，这篇文章的目的是测量等离子体的电子温度及其改进。

关键词

等离子体 等离子体温度 电子温度 电子温度测量 双探针法

引言

一、等离子体温度一般可按如下几种情况讨论。高温等离子体由于粒子具有能量较大，碰撞足够频繁，离子和电子容易达到热力学平衡，具有统一的温度。低温等离子体中，粒子密度小，粒子间碰撞不够频繁，离子和电子之间不容易达到热力学平衡，所以同时存在两种温度，即电子温度和离子温度。目前等离子体参检测手段有光谱、微波干涉、激光干涉、高速摄影及静电探针，本文采用静电探针测量等离子体电子温度。

二、理论/实验部分

两次实验中尝试了以下几方面的改进：

- 一、保证气压和功率的稳定；
- 二、对探针进行负高压电清洗；
- 三、观察探针被重新氧化随时间的变化曲线，电清洗后选取一个相对稳定的区间。

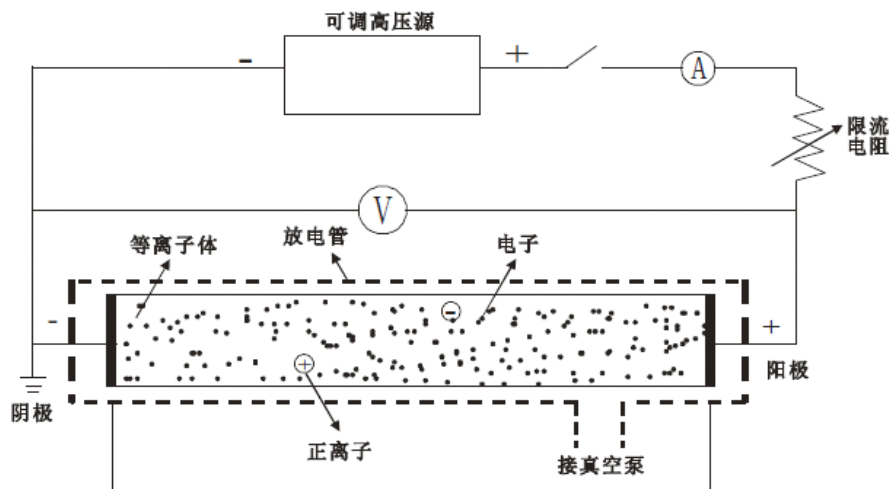


图1 低气压放电管工作原理示意图（引自实验仪器厂家资料）

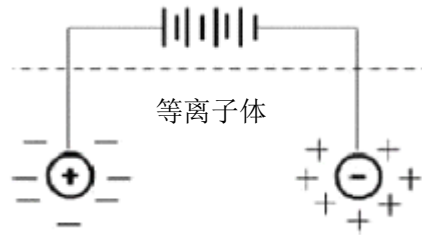


图2 等离子体双探针法示意图（引自仪器厂家资料）

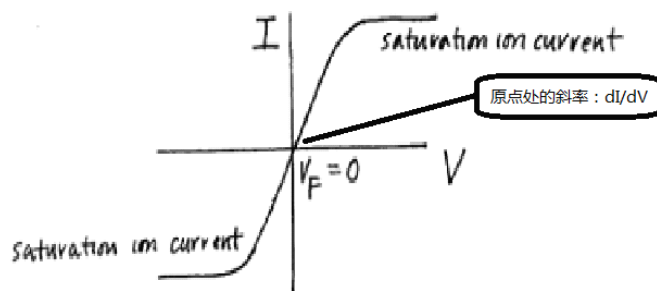
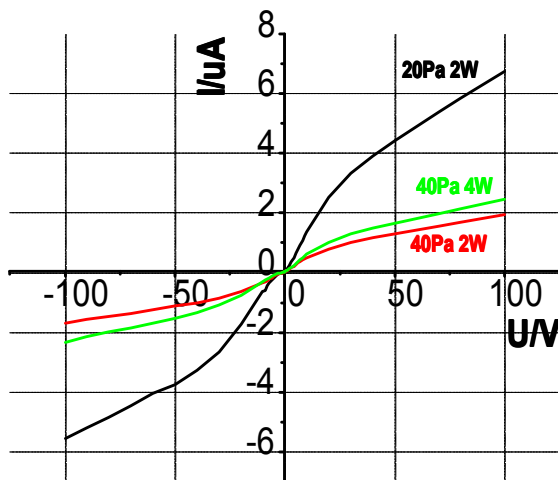


图3 理想双探针 I-V 曲线

$$\text{电子温度: } T_e = \frac{eI_i}{2k \frac{dI}{dV_{(I=0, V=0)}}$$

注: $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库, $k = 1.38 \times 10^{-23}$, $1eV = 11600K$

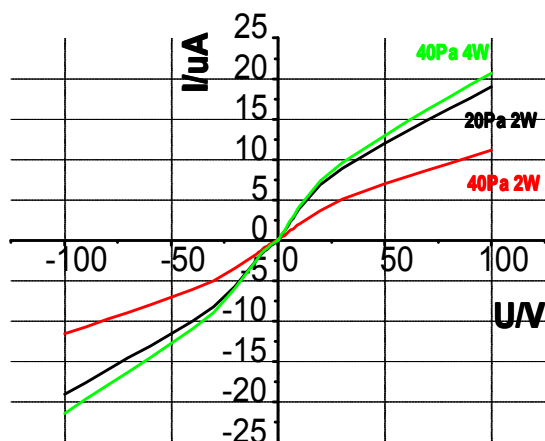
改进前实验结果如下



组别	A	B	C
功率/w	2w	2w	4w
压强/pa	20	40	40
$I_i/\mu A$	3.40	0.858	1.272
dI/dV $/\mu A/V$	0.09782	0.03922	0.04201
电子温 度/eV	17.4	10.9	15.2

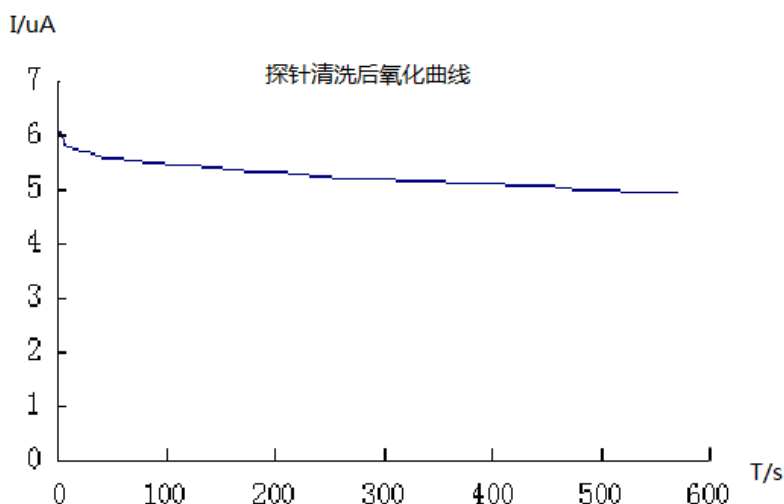
I_i 及 dI/dV 通过线性拟合得到。

改进后实验结果如下



组别	A'	B'	C'
功率/w	2w	2w	4w
压强/pa	20	40	40
$I_i/\mu\text{A}$	7.577	4.418	8.628
dI/dV $/\mu\text{A/V}$	0.30689	0.18123	0.3144
电子温度 $/\text{eV}$	12.35	7.5eV	13.7

I_i 及 dI/dV 通过线性拟合得到。



左图显示了经负高压清洗后的探针重新被氧化的速率曲线。纵坐标代表通过探针的电流，电流变小说明探针被氧化，氧化层便后导致电阻变大。

结果与讨论

通过对双探针做负高压清洗，I-V 曲线有所改善，电流明显偏大，表明氧化层的影响减弱。由以上实验数据可得如下结论：

- ①压强增大电子温度下降。一方面是由于压强增大电子平均自由程变短，加速距离减小，电子平均动能减小的缘故。
- ②功率增大电子温度升高。电压增大意味着加速场强增大，电子平均动能增大。
- ③经负高压清洗过的探针很容易被重新氧化，根据其氧化曲线有必要选取一相对稳定的区间。经负高压清洗过的探针开始被氧化的速率很快，然后逐渐变慢。

致谢

首先非常感谢乐永康老师，在时间冲突的情况下为我们安排了这次实验机会。其次感谢我的搭档万润来，在第一次实验的数据不理想的情况下，通过搜集资料又让我们找到了改进试验方法的思路。

参考文献

- ① 《应用等离子体物理学》张谷令，刘元富等著。首都师范大学出版社，2008；
- ② 《等离子体技术及应用》赵青，刘述章等著。国防工业出版社，2009；
- ③ 《等离子体的参数测量-讲义》复旦大学近代物理实验室；
- ④ 《DH2005型 直流辉光等离子体实验装置使用说明》杭州大华科教仪器研究所；
- ⑤ 杨宣宗、袁定朴、王龙、蒋地明，气体放电中静电探针表面的污染和清洗。中国科学院物理研究所。