

# Langmuir 探针在等离子体实验中的应用问题

## ——浅谈探针表面氧化层对实验的影响

材料物理 万润来

**摘要：**介绍了 Langmuir 探针测量等离子体参数特性的实验原理和方法，采用 Langmuir 双探针测量了低气压直流辉光等离子体的特性参数，并通过比较对探针施加负高压进行清洗前后实验结果的变化讨论了探针表面氧化层对实验结果的影响。结果表明，对探针进行负高压清洗能有效去除覆盖在探针表面的氧化层，在一定程度上提高实验的精度。

**关键词：**等离子体；Langmuir 双探针；负高压清洗

### 1 引言

等离子体是由离子、电子及中性粒子组成的准中性气体，它的行为主要由电子和离子之间的库伦作用力支配，而中性粒子间的相互作用则退居次要位置。在低温等离子体中，由于电子质量小，热运动比较剧烈，因此在不平衡的状态下，其热运动可以比阳离子和中性粒子剧烈很多，体现为电子温度远高于阳离子和中性粒子的温度。等离子体在现代技术中有非常重要的作用。根据等离子体的不同特点，其应用基本可以分为以下一些方面：利用等离子体的发光可以制成霓虹灯管以及平板显示器；利用等离子体的高温可用于焊接、切割、金属熔炼等方面；利用等离子体的化学活性可以用于集成电路中的硅刻蚀以及淀积薄膜。

Langmuir 探针是最早被用来测量等离子体特性的一种诊断工具，根据探针的伏安特性曲线就可以得到等离子体参数，且具有结构简单、操作容易和测量数据可靠等优点，是低温等离子体研究中一种十分有用的诊断方法<sup>[1]</sup>。

### 2 实验装置和原理

本实验采用的实验装置是杭州大华仪器制造有限公司生产的 DH2005 型直流辉光等离子体实验装置（实验原理电路如图 1 所示）：在等离子体放电管靠近阳极附近正柱区装有 2 个悬浮的探针，两探针间电压可以调节，利用测得的放电管处于稳定状态下的两探针间的 I-V 特性曲线，就可以计算出电子温度和电

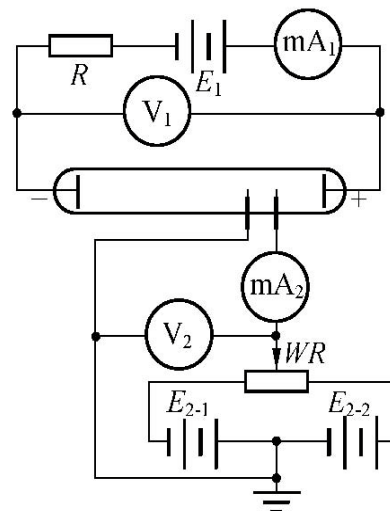


图 1 实验原理示意图

子密度,进而求出其余各参量。如果两个探针是完全相同的(即形状和表面积都相同),而它们所处的局部等离子体电位也是均匀的,且具有相同的参量和空间电位,那么它的 I-V 曲线将是正负对称的(如图 2(a)所示),但实验测得的 I-V 曲线通常并不对称(如图 2(b)所示)。这种不对称有两方面:一是曲线与 V 轴交点不在原点,这说明两探针所在等离子体空间位置的电位不同(即当两探针间外加电压为 0 时,电流并不为 0);二是当具有相同  $\Delta V$  时(I 从 0 时算起), $\Delta I_1 \neq \Delta I_2$ ,称为曲线与 V 轴交点不对称。针对第二种不对称性提出 2 种可能的解释:1)由于两探针的表面积不同,探针间电流主要取决于两探针上收集的电子流,当探针

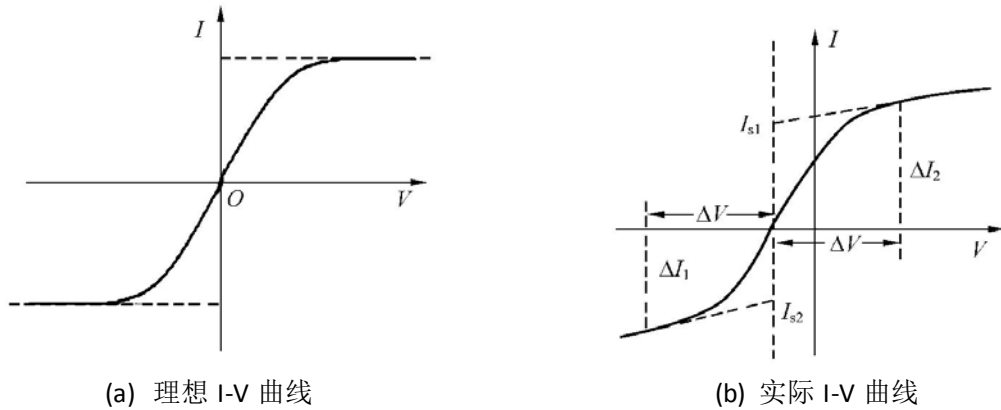


图 2 双探针 I-V 特性曲线

间加正向和负向电压时,单位时间由探针收集的电子流不同,使探针间电流不同。因此,曲线表现出不对称性;2)由于两探针处在等离子体的不同空间电位上,使得当探针间外加电压为 0 时,探针回路电流并不为 0。<sup>[2]</sup>

获得 I-V 曲线后可以根据等离子体温度与探针电流及探针电压的关系<sup>[3]</sup>:

$$T_e = \frac{eI_i}{2k \frac{dI}{dV_{(I=0, V=0)}}} \quad (1)$$

算出等离子体的温度。式(1)中  $I_i$  为等离子饱和电流,  $k=1.38 \times 10^{-23}$ 。

本次实验的条件以及参量:压强: 20Pa~40Pa, 放电功率: 2W~4W, 放电气体为  $Ar_2$ , 放电管长度为  $95 \pm 1mm$ 。

### 3 实验结果及讨论

在对探针进行清洗之前,分别改变放电气压及放电功率(三组实验条件分别为: 20Pa, 2W; 40Pa, 2W; 40Pa, 4W),测得的探针 I-V 曲线如图 3 所示:曲线通过 V 轴零点,说明两探针所在的等离子体空间位置的电位相同;但曲线相对于 V 轴交点却出现明显的不对称,由此可以推测这是由于两个探针表面积不相等造成的。这种不对称产生的原因可能是制做探针时造起的,也可能是由于探针表面覆盖的氧化层造成的。为了找出原因,可以对探针施加负高压以清除探针表面

覆盖的氧化层并进一步研究 I-V 特性曲线。

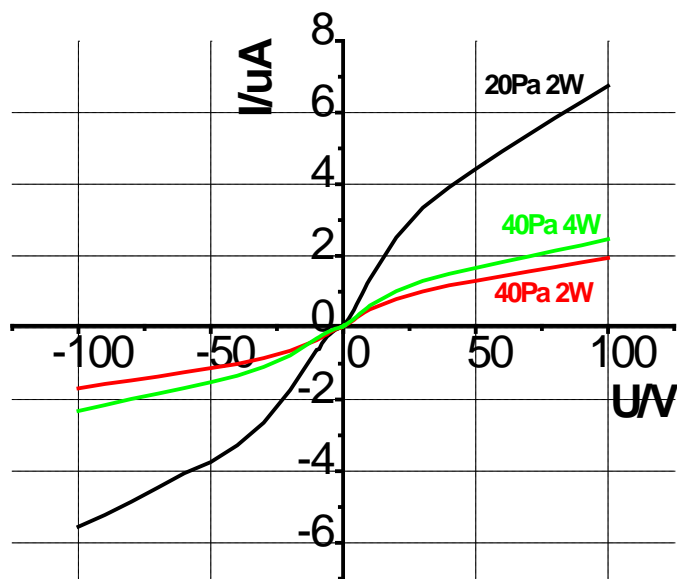


图 3 探针清洗前不同条件下的 I-V 特性曲线

不过在研究去除氧化层后的 I-V 特性曲线之前，需要研究负高压清洗对探针的影响。在产生稳定放电后，对两个探针施加负高压（-105 V），然后测量流过两个探针间的电流（两个探针间的电压均为 10 V）。改变施加负高压的时间（分别为 1 分钟、5 分钟和 10 分钟），得到的 I-t 曲线如图 4 所示：随着施加负高压的时间的增加，在相同条件下测得的通过探针的电流增大，这说明采用负高压对探针进行清洗能有效去除探针表面覆盖的氧化层。从图 4 还可以看出，三组电流的下降速率在开始阶段都比较快，其后电流的下降速率逐渐减慢。

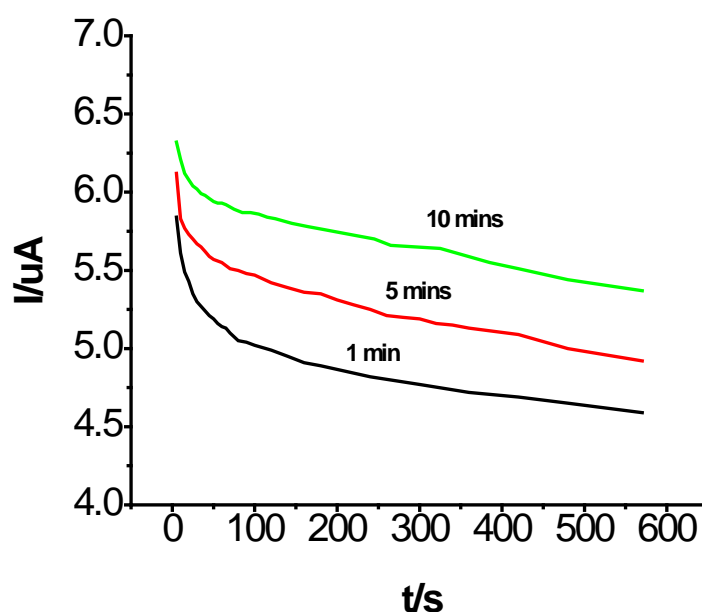


图 4 探针清洗不同时间下电流 I 与时间 t 的关系

下面对清洗后的探针的 I-V 曲线进行研究。在重复之前的三组实验之前，分别对探针进行 5 分钟的负高压 (-105V) 清洗，待电流稳定后 (约 2 分钟) 对探针进行测量。测量结果如图 5 所示：与图 3 类似，图 5 中的三组曲线均通过坐标轴零点，说明两探针所在的等离子体空间位置的电位相同；但图 5 中的 3 组曲线相对于 V 轴交点却非常对称，这说明经过清洗可以除去探针表面覆盖的氧化层，除去由于氧化层而引入的实验误差。通过比较图 3 和图 5，不难发现：除去探针表面覆盖的氧化层后测得的通过两探针的电流更大，在 V 轴零点附近的斜率

( $\frac{dI}{dV}$ ) 也更大，这表面采用负高压清洗探针后可以在一定程度上提高实验的精度。

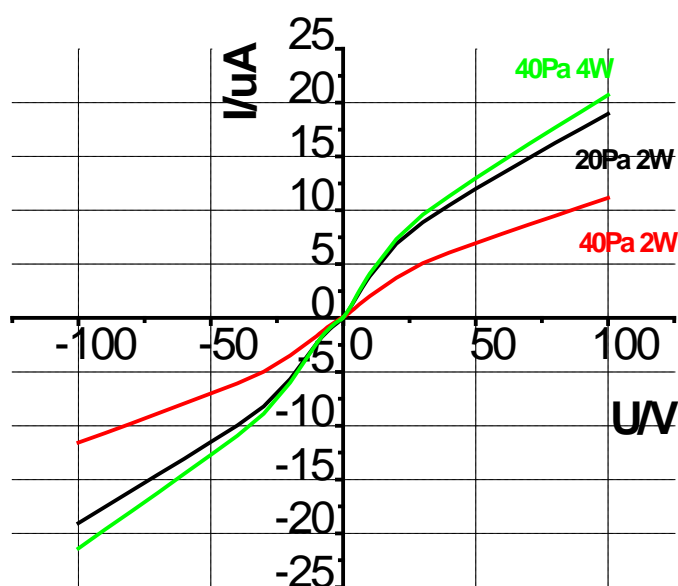


图 5 探针清洗前不同条件下的 I-V 特性曲线

#### 4 结论

通过以上的实验可知：在采用 Langmuir 双探针测量等离子体的特征参数实验中，探针表面覆盖的氧化层会导致探针 I-V 特性曲线相对于 V 轴交点不对称，而对探针进行负高压清洗后，可明显提高探针 I-V 特性曲线的对称性，同时除去探针表面覆盖的氧化层后测得的通过两探针的电流更大，在 V 轴零点附近的斜率

( $\frac{dI}{dV}$ ) 也更大，这表面采用负高压清洗探针后可以在一定程度上提高实验的精度。

#### 参考文献

- [1] 符斯列：《Langmuir 探针测量低温等离子体参数特性实验》，实验室研究与探

索，第 29 卷第 3 期，2010 年。

[2] 张洪志等：《气体放电等离子体特性测量 I-V 曲线不对称性的研究》，物理实验，第 26 卷第 3 期，2006 年。

[3] 周怀北等：《气体放电等离子体中朗缪尔探针应用中的问题》，空间科学学报，第 9 卷第 3 期，1989 年。

**致谢：**感谢我的合作者吕金钟同学在实验中对我的支持和帮助，感谢乐永康老师在实验过程中给我们的指导以及帮助。