大气压放电暖等离子体温度测量实验报告

1实验目的

了解等离子体的基本概念和特性，掌握等离子体的基本理论和测量方法。

学习M-Z光干涉法及其应用于等离子体温度测量的原理和方法。

学习Pockels效应及其应用于改进M-Z光干涉法的原理和方法。

利用M-Z光干涉法和改进后的Pockels效应M-Z光干涉法分别测量大气压放电暖等离子体的气体温度。

2实验原理

等离子体是一种带正负电荷的气体状态，是物质存在的第四种状态。等离子体的温度是指等离子体内粒子的热运动能量，可以通过M-Z光干涉法等方法对其进行测量。

2.1 M-Z光干涉法

M-Z光干涉法的测量光路原理示意图如下，

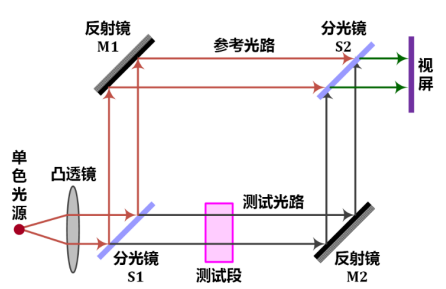


图1 M-Z光干涉法原理光路图

激光器发出的光在通过第一个分光镜S1后，光束被分为两束相互垂直的光束，分别通过测试光路和参考光路后投射到光屏上。若测试光束没有受到测试段的影响，则视屏上将呈现一个明亮的光场，无干涉条纹；若在测试段引入了被测对象，则会由于两光束之间的光程差而产生干涉条纹。

用和表示参考光束和测试光束在时刻的振幅：

（1）

（2）

将式（1）（2）相加可得到视屏上这两束光叠加后的振幅：

（3）

其光强正比于振幅的平方：

（4）

当在测试段内放入被测对象时，测量光束与参考光束之间的相位差可写为：

（5）

当相位差变化一个，干涉条纹就会变化一条。所以可以定义条纹位移数：

实际上，M-Z光干涉法的参考光束和测试光束并不总能完全重合，两者之间存在一个微小夹角，视屏上会出现等间距平行的楔条纹。当测试段内温度场发生干扰时，条纹将发生弯曲。与无限宽干涉条纹相比，楔条纹的条纹位移数容易确定，计算准确，且还能分辨温度梯度的方向。

由Gladstone-Dale公式可知气体折射率与密度的关系：

（7）

若气体为理想气体，则由理想气体状态方程：

（8）

所以得到气体温度与折射率之间的关系：

（9）

在无限宽干涉条纹下，若被测对象的厚度为，那么：

（10）

将式（10）代入（9）可得：

（11）

2.2 偏振光与Pockels效应

2.2.1 平行偏振光的干涉

自然光在传播过程中，如果由于外界作用造成各个振动方向上强度不等，这种光叫部分偏振光。

当一束单色光在晶体界面折射时，通常会产生两束折射光纤，分别称为寻常光“o”和非常光“e”，这种现象成为双折射。

如图2所示，让波长为的平行偏振光垂直通过放在两偏振片之间厚度为的平面平行晶片。入射偏振光经过晶片后分解为o光和e光，光矢量分别沿晶片的快轴和慢轴方向。若起偏器的透光轴P1与x轴夹角为α，检偏器的透光轴P2与x轴的夹角为β，且透过起偏器的线偏光的振幅为a，则其在晶片的快轴和慢轴上的投影为acosα和asinα。于是可以得到两个分量透过晶片后的相位差为：

（12）

两个分量对应的振幅表示为：

（13-1）

（13-2）

这两个分量透过光轴P2的分量为：

（14-1）

（14-2）

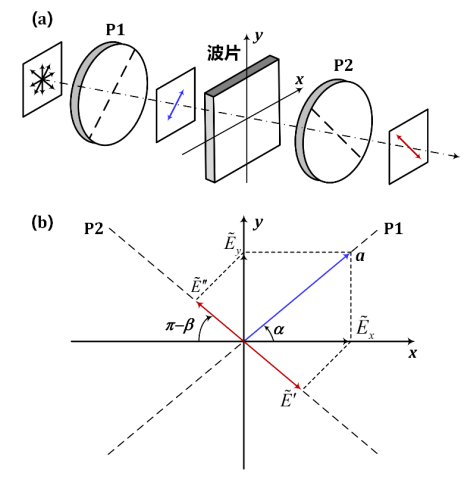


图2 平行偏振光的干涉

这两束光干涉后的强度表示为：

（15）

当，时，两偏振器的透光轴正交，且与晶片的快慢轴夹角都为45度。此时干涉条纹背景光消失，条纹对比度最好，即：

（16）

2.2.2 Pockels效应

在强电场作用下，原本各向同性的介质会发生双折射现象，而原本有双折射性质的镜体，其双折射性质会发生会变化，这种现象称为电光效应。Pockels效应为一级电光效应。

如图3所示，在起偏器P1和检偏器P2之间防止一个晶体，且P1和P2的透光轴正交。从起偏器透出的线偏振光将沿晶体的光轴方向通过，而无法通过检偏器，所以视场为暗场。

若在晶体两端镀一层透明电极并加一个强电场，晶体将变成双轴晶体，在晶体端面上存在两个分别通过端面对角线的互成90度的主振方向。当光矢量方向平行于x轴时，其传播速度为，相应的折射率为；当光矢量平行于y轴时，传播速度为，相应的折射率为。定义这两个主振动方向的感生折射率差为，其与加在晶体两端面间的电场强度的关系为：

（17）

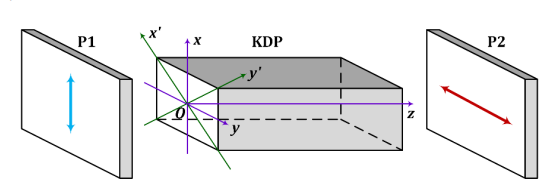


图3 晶体的Pockels效应

当这两束光从晶体的另一端面射出时会存在一个固定的相位差：

（18）

所以从检偏器透出的光强为：

（19）

当起偏器的透光轴与晶体的快轴或慢轴平行时，透射光只有o光或e光。此时晶体可作为相位可调的移相器使用，其相移与加在上面的电压成正比：

（20）

当时所对应的电压被称为半波电压：

（21）

即

（22）

当等离子体放入测试光路时，由于等离子体的温度不同于环境，从而两光路之间会产生附加的光程差，而这一光程差可以通过调节电光调制器上的电压来调整，从而使两束光再次达到消光的状态，即，代入（11）可得：

（23）

3 实验步骤

1.搭建如图所示的实验测量系统。

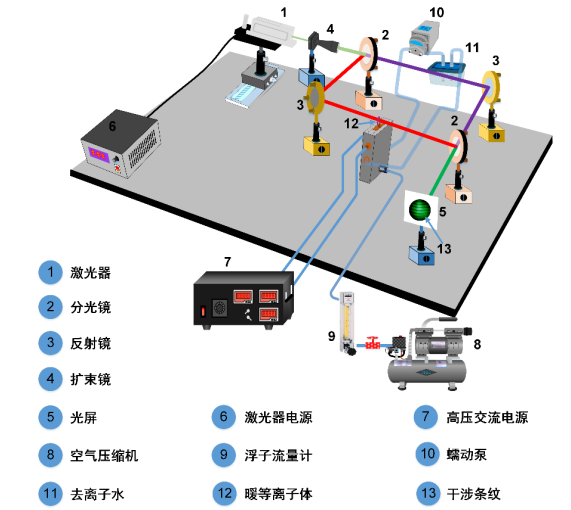


图4 实验测量系统

在搭建各光路元件时，可以利用光栅保证各光路之间的垂直和平行。

2.接着调节分光镜S2，使得两束光经过S2后无论在近处还是远处都重合。这时在屏上可以看到楔条纹。反复调节S2，使得屏上可获得无限宽干涉条纹。

3.打开暖等离子体发生器，调节流量计，逐渐增加电源的输入功率，用示波器观察并记录放电的电压变化。

4.关闭暖等离子体，如图所示，在激光器和分光镜之间放入起偏器P1，在光电探测器和分光镜之间放入检偏器P2，在测试光路和参考光路之间分别放入电光调制器A1，A2。

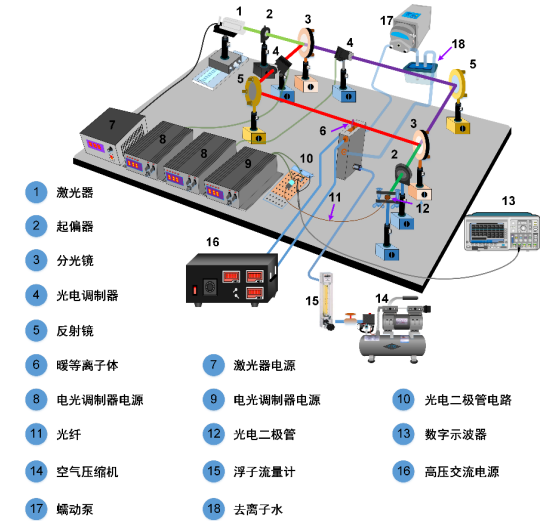


图5 改进后的实验测量系统

5.调节起偏器和检偏器的通光方向，使其互相垂直，这时的光输出最弱。

6.挡住参考光路，以光束传播方向为对称轴旋转测试光路上的电光调制器，直到再次达到消光状态，此时该电光调制器的主轴与起偏器或检偏器的通光方向平行。然后将电光调制器旋转45度。

对测试光路进行同样的操作。

7.打开暖等离子体发生器，调节流量计，逐渐增加电源的输入功率，获得稳定的空气放电暖等离子体。记录实验数据如下。

表1 各实验参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 放电电压 | 气体流量 | 无等离子体时光电探测器电压 | 有等离子体时光电探测器电压 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

已知：，，，，，，。将数据代入式（23）可得：

表示在假设的情况下等离子体的温度。但实际上，，所以实际的应该为

（24）

当时，

（25）

代入数据后可得，。

所以。与暖等离子的温度符合。

4 思考题

4.1 在M-Z光干涉法测量中，如何确定环境温度和零级条纹的位置？

环境温度可以使用温度计等测量仪器进行测量，也可以使用一个恒温器来维持恒定的环境温度。

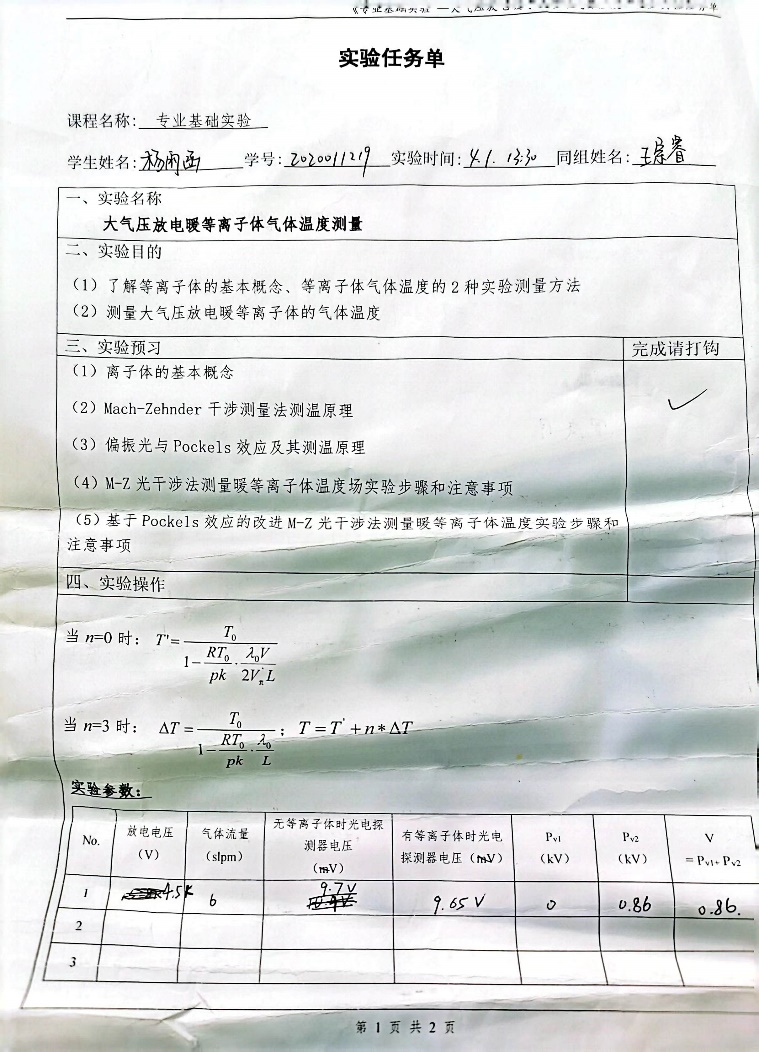
零级条纹位置的确定可以通过反复调整移动反射镜的位置，找到干涉条纹移动最缓慢的位置，该位置即为零级条纹位置。另外，零级条纹通常比较明亮，可以通过微调移动反射镜的位置来寻找条纹亮度最大的位置。

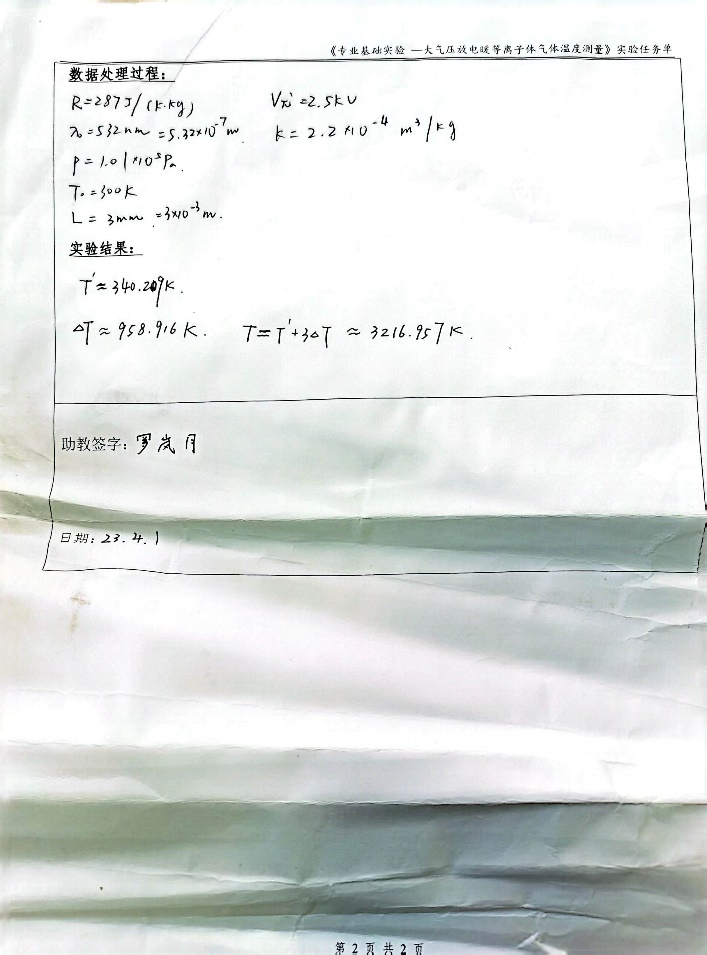
4.2 在基于Pockels效应的改进M-Z光干涉法测量中，如果两束光间的光程差大于1个波长，即相位差为，那么，从实验测量的角度该如何确定n，以及如何对式（23）进行修正？

共当两束光光程差大于一个波长时，会出现干涉条纹移动的现象。可以通过观察干涉条纹的移动距离和方向来确定n的值。式（23）可修正为：

5 实验体会

在进行大气压放电暖等离子体气体温度测量实验中，我通过实验M-Z光干涉测量法和基于Pockels效应改进的M-Z光干涉法进行了温度测量。通过实验，我深刻体会到光干涉法在气体温度测量中的应用优势，如测量精度高、实验难度小等。同时，在实验过程中，我也发现了一些需要注意的问题，如光路对齐、环境温度等因素会对测量结果产生影响。通过实验，我不仅掌握了实验M-Z光干涉测量法和基于Pockels效应改进的M-Z光干涉法的原理和操作方法，还提高了实验操作的能力和实验分析的能力。这次实验为我将来在相关领域的研究和工作打下了坚实的基础，也让我更加深入地了解了光干涉法在温度测量中的应用。



****