

相关知识

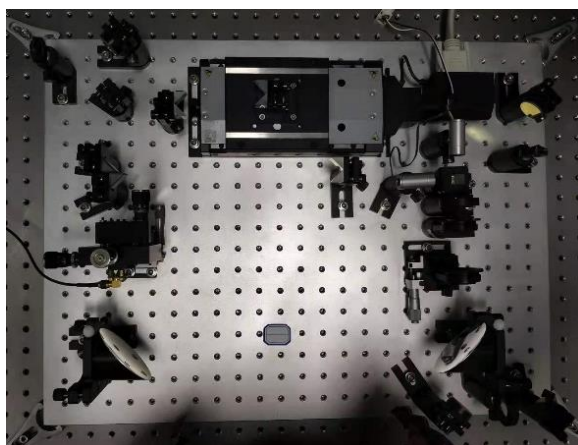
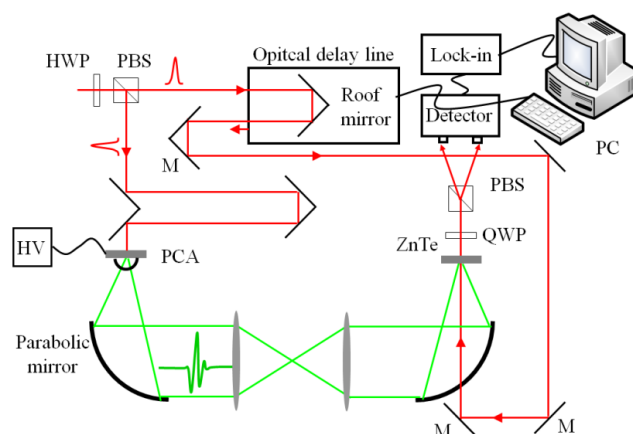
太赫兹波一般指频率在 0.1-10THz 之间的电磁波，其波长大概在 0.03~3mm 范围内，介于微波与红外之间。太赫兹波在电磁波谱中所处的特殊位置使其成为一个全新的前沿交叉领域，其对电子学与光子学研究的相互借鉴、相互依托以及学科内在的联系与融合有着重要的科学意义。特别地，因为太赫兹波辐射与大多数极性物质的相互作用都具有指纹特性，使其能够被待测样品选择性吸收，因此与样品相互作用后的太赫兹光谱包含着样品独特的化学信息，可以方便地实现对药品、爆炸物、毒品等物质的识别。

实验 D(1) 太赫兹光谱检测实验-基于光学方法

一、 实验目的

1. 了解太赫兹时域光谱的系统原理。
2. 了解不同物质的太赫兹吸收特性。

二、 基本原理



太赫兹时域光谱由太赫兹脉冲与样品发生相互作用产生太赫兹电场，再获得太赫兹电场强度随时间的变化曲线，本实验采用的为透射式太赫兹时域光谱系统（THz-TDS）。透射式 THz-TDS 系统主要由 THz 波产生装置、THz 波探测装置和时间延迟控制系统组成。由飞秒激光器发出的飞秒激光脉冲经半波片（Half-Wave Plate, HWP）后被偏振分光镜（PBS）分成偏振方向互相垂直的两束，其中一束作为泵浦光，另一束作为探测光。泵浦光经过时间延迟装置，入射到低温生长的碲化镓光导天线（PC Antenna）上，通过光整流效应激发产生 THz 电磁波脉冲，发射出的 THz 脉冲被离轴抛物面镜准直、聚焦到样品上，THz 脉冲穿透样品后载有样品信息被离轴抛物面镜准直、聚焦到探测晶体（碲化锌 ZnTe 电光晶体）上。探测光经过一系列反射镜后与载有样品信息的 THz 波共线地通过 ZnTe 电光晶体。探测晶体在 THz 脉冲电场的作用下产生线性电光效应（Pockels 效应），ZnTe 晶体的折射率椭球发生改变，使通过 ZnTe 电光晶体的探测激光脉冲的偏振态发生改变，从而反映出 THz 电场的大小及其变化情况。当没有 THz 脉冲信号时，由于 ZnTe 晶体不具有双折射特性，探测光通过 ZnTe 电光晶体后偏振方向不变，调整四分之一波片（Quarter-Wave Plate, QWP）使得探测光通过后变成圆偏振光，再经过渥拉斯顿棱镜后探测光被分成方向垂直、强度相等的两个偏振分量，从而使差分光电二极管输出的电流不为零，差分电流的大小与 THz 波的电场强度成正比。最后将测量得到的微弱差分电流信号经锁相放大器放大后输入计算机进行进一步处理。

通过 THz-TDS 系统测得的原始时域信号包含的是和时间有关的太赫兹宽带脉冲场幅值信息。对时域信号时间序列上的探测是通过延迟平台中步进电机的移动控制实现的。在所测得的时域信号谱中，会出现强度突增的峰值，为太赫兹主峰。在该主峰前，泵浦光束的光程大于探测光束，探测脉冲到达太赫兹探测器的时间将会遭遇由泵浦光脉冲激发产生的太赫兹波。因此，可以用主峰前信号来表征背景噪声，随着由步进电机控制的延迟线的移动，探测脉冲光程逐渐增大，包含样品信息的信号将会开始出现在太赫兹时域光谱中。

太赫兹的时域信号能够被看作成一系列在不同频率下正弦波叠加的结果。因此，对样品和空气参考的时域信号进行傅里叶变换，可进而获得其在频域上的信息：

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j\omega t} E(t) dt$$

而延迟平台中步进电机每次移动的距离 Δs 决定了时域数据的采样间隔：

$$\Delta t = \frac{2\Delta s}{c}$$

其中， c 为真空中光速。因此对于步进电机微米级别的移动间隔，对应时域信号的采样间隔在皮秒量级。对时域信号进行傅里叶变换后，其对应频域谱在太赫兹频段内。最终，通过比较太赫兹辐射分别穿过空气和样品时每一个频率点所对应的值变换，可以从中得到样品对不同频率成分太赫兹波的吸收强度大小，进而得到样品的太赫兹吸收谱。

三、 仪器操作步骤

1. 检查入射泵浦激光

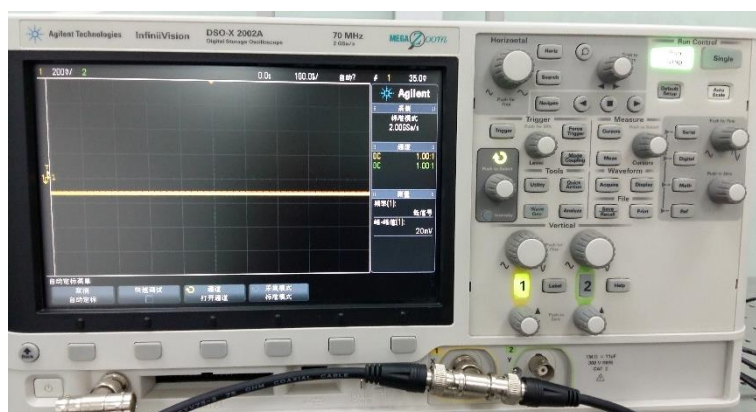
将激光器钥匙转动至“I”，接通电源。此时，SYS闪烁；SYS常亮后，按下OSC。此时OSC及MLD闪烁，振荡器开始工作，锁模模式开启；OSC及MLD常亮后，按下AMP，放大器开始工作；全部操作完成后，激光器正常出光。**请勿用眼睛直视激光，切记！**可用挡光板查看出光。

2. 调节光束导入太赫兹谱仪系统

打开光路挡板，调节光束进入太赫兹谱仪系统，保证光束在进入谱仪系统时，与入口前的两个光束定位光阑中心严格一致。

3. 开启示波器，调节探测光偏振态

开启示波器，调节示波器水平尺度和垂直幅值旋钮，旋转探测器前1/4波片，保证平衡探测器在没有与太赫兹作用的情况下，具有较好的平衡状态（零电平位置）。



4. 开启锁相放大器，设置合适参数

开启相放大器，将时间常数（TIME CONSTANT）设置为100 ms档位，灵敏度（SENSITIVITY）设置为100 mV 档位，动态范围设置为24 dB 档位，S 信号输入（IGNAL INPUT）设置为A、AC、FLOAT。



5. 开启高压调制电源

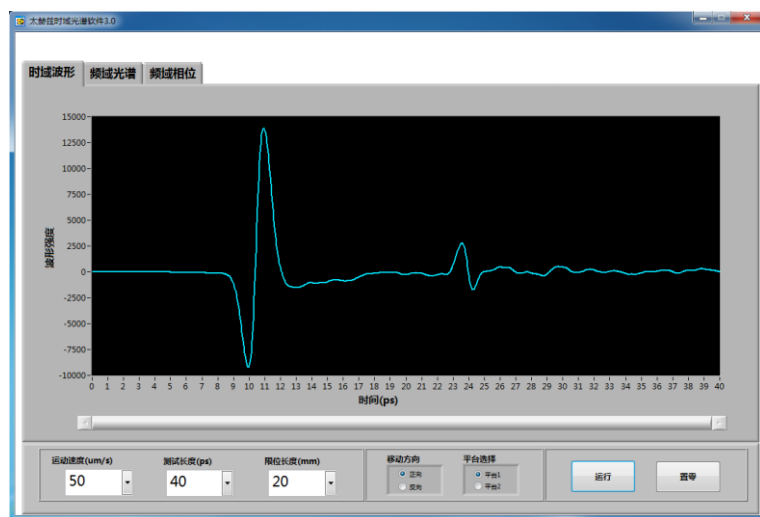
开启高压调制电源，将输出电压设置为50V，调制频率设置为3000 Hz，然后按下电压调节按钮，将电源状态由待机（STANDBY）改为运行（WORKING），调节后的调制电源前面板状态如图所示。**注意：不要随意增加输出电压，电压不得超过50V，否则会导致光电导天线被击穿！**



6. 开启计算机，运行控制系统

开启计算机，运行系统控制与数据采集软件，选择合适的平移台、运动速度和平台限位距离，运行软件，实现太赫兹测试和数据采集。

第一次点击软件“运行”键后，为系统初始化过程，此时平台并不移动，等待几秒点击停止，完成设备初始化后，再点击软件“运行”键，精密控制平台可扫描移动，软件实现正常控制、测量、数据采集和存储等功能。**注意：“置零”按键为设置平台初始扫描位置所用，如无特殊情况请勿点击此按键！**



7. 样品测试

首先测量纯聚乙烯粉末压片制成的样品片在自由空间的太赫兹光谱，作为背景光谱。将待测物与聚乙烯混合搅拌研磨均匀后，压成厚度约为1mm厚度的样品片，测试太赫兹时域光谱。

将采集到的时域光谱进行傅里叶变换，转换为频域，然后将含有样品的实验

数据扣除背景光谱即得到样品的吸收光谱。

8. 测试结束后，关闭计算机，并关闭激光器等其他相关仪器设备

测试结束后，正常关闭控制软件，关闭计算机，用挡光板挡住光谱仪入光口，断开锁相放大器、示波器、高压调制电源等相关仪器电源。

关闭激光器：关闭AMP；关闭OSC；转动钥匙至“0”，激光器关机。

四、 注意事项

1. 请勿用眼睛直视激光，切记！
2. 不要随意增加高压调制电源输出电压，电压不得超过**50V**，否则会导致光电导天线被击穿！
3. 软件“置零”按键为设置平台初始扫描位置所用，如无特殊情况请勿点击此按键！
4. 不要随意触碰系统中的光学元器件，切记！
5. 激光器待机操作：关闭AMP；关闭OSC。

五、 实验报告要求

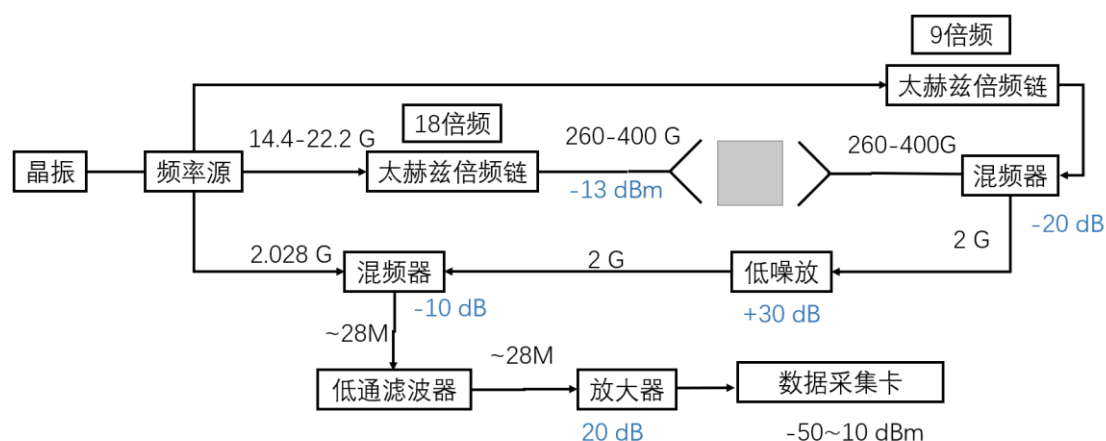
1. 计算所测样品的太赫兹吸收光谱。
2. 尝试变换不同的测试长度，总结测试长度对太赫兹吸收光谱的影响。
3. 当测试长度足够长时，会在时域观察到回波信号的出现，分析回波信号对太赫兹光谱的影响。
4. 对仪器的改进建议？

实验 D(2) 太赫兹光谱检测实验-基于电子学方法

一、 实验目的

1. 了解基于倍频链技术的太赫兹频域光谱的系统原理。
2. 了解不同物质的太赫兹吸收特性。

二、 基本原理



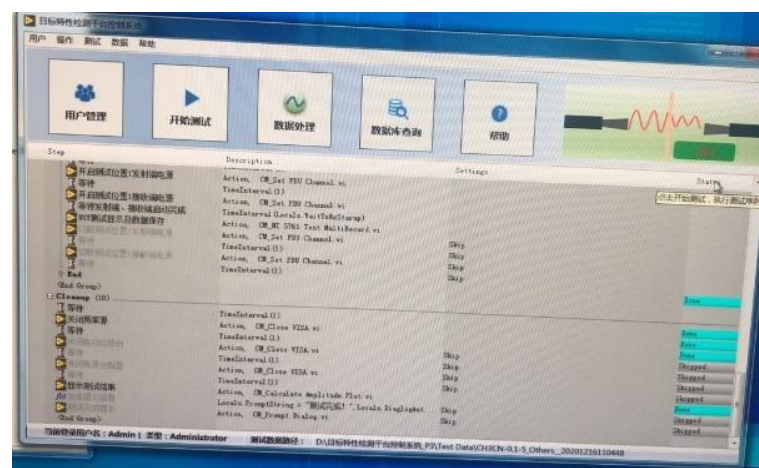
太赫兹频域光谱的核心是利用频率可调谐的窄带、相干太赫兹辐射源完成频谱的扫描，用太赫兹波能量 / 功率计测量不同频率太赫兹波的能量或功率，直接获得样品在频域上的信息，进而计算获得相关的参数。本实验的太赫兹系统中，发射链路采用微波倍频技术，频率源所发射出来的信号经过多次倍频放大，获得相应频率的太赫兹信号。低频段链路采用功率合成器实现信号放大，高频段链路集成倍频功率合成器实现信号放大，不同链路的倍频次数与该链路输出频率有关。

接收链路基于超外差相干技术，驱动信号经不同次数倍频后获得不同的本振信号，其频率划分与发射链路相对应。本振与接收获得的信号混频后，实现相干检测。混频后的中频信号通常为 2-18GHz，进一步通过下变频模块再次混频，获得 kHz 或 MHz 的信号，放大滤波后，输出到信号采集卡。

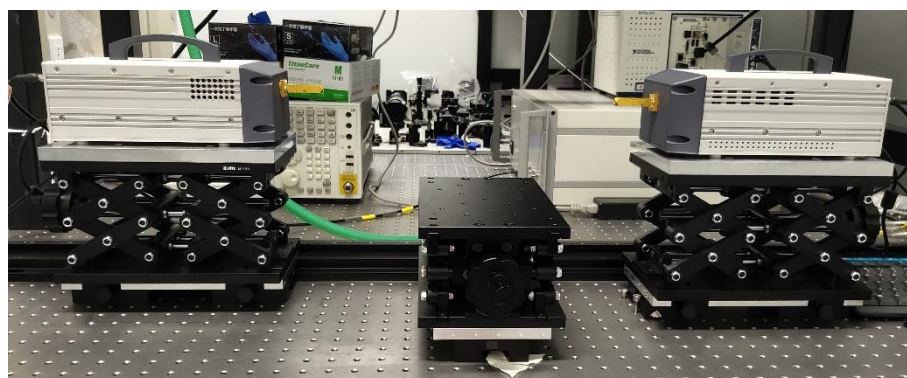
当频率源开始工作时，同时给出一个触发到采集卡，采集卡开始采集信号，需要不断采集并将之前采集的数据写入保存。频率源扫频时，会快速切换频率，短时间内完成 1E6 个频点的扫描，采集卡需要采集这段时间内的数据，每个频点都是正弦波信号，然后对正弦波作傅里叶变换直接得到样品的太赫兹光谱。

三、 实验步骤

1. 打开频率源、收发链路、工位机电源。打开采集软件。

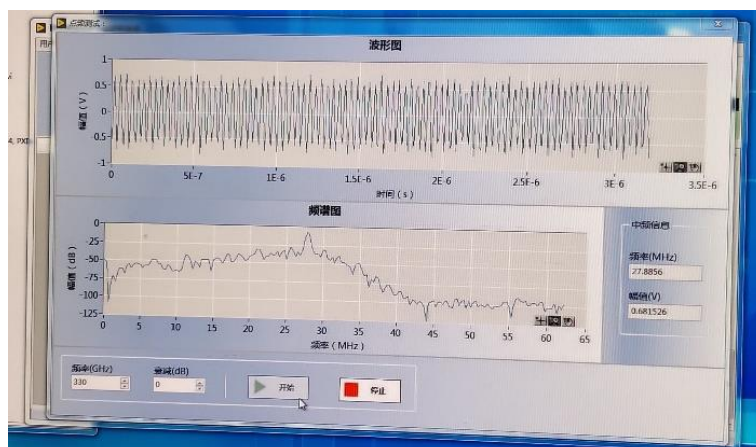


2. 初步调整光路，保证收发链路天线对齐。



3. 细调光路，在点频模式（330GHz 或任意确定频点）下，调整光路，保证幅值在 1 以上或其最大状态。

4. 选择实验所需要的频率范围和频率步进（分辨率）。



5. 点击扫频。在扫频模式下，进行样品测试。首先测试无样品情况下的背景光谱。接下来进行样品测试。样品选择有氨基酸，太赫兹窗片，乙醇等。所得样品频谱扣除背景频谱即可获得吸收光谱。



6. 通过软件导出和查看所需数据，导出格式建议为 .txt, 应用于 origin 软件比较方便。

7. 关闭软件、频率源、收发链路、工位机电源。

四、 注意事项

1. 实验过程中带手套，防止静电。
2. 在实验过程中保证待测样品架或气腔不要有轻微移动。
3. 实验人员与测试空间保持适当距离，以免呼气的水蒸气影响结果。

五、 实验报告要求

1. 说明采用的检测体制（直接检波或外差接收），得出样品的吸收光谱，并简要分析二种检测方式的区别。
2. 尝试变换样品参数（固体样品的厚度、气体样品的尺寸），分析其对吸收光谱的影响规律。
3. 利用测得的太赫兹光谱，思考基于光学方法及电子学方法获得太赫兹光谱的差异。
4. 对仪器的改进建议？