

迈克尔逊干涉仪在红外遥测领域的应用研究

吴锋明

(杭州谱育科技发展有限公司, 浙江 杭州 311305)

摘要 迈克尔逊干涉仪属于红外光谱仪中的一种, 应用较为广泛, 又被称为傅立叶变换红外光谱, 在众多领域均有所应用, 如生物学领域、石油工业领域、高分子化学领域、半导体材料领域等, 具备较高的应用价值。基于此, 本文从迈克尔逊干涉仪工作原理入手, 分析迈克尔逊干涉仪光谱测试系统的优势, 提出迈克尔逊干涉仪红外光谱测试系统设计措施, 希望为迈克尔逊干涉仪在红外遥测领域的应用提供参考借鉴。

关键词 迈克尔逊干涉仪 红外遥测 红外光谱测试系统

中图分类号: TN21

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)08-0010-03

迈克尔逊干涉仪作为一种光学仪器, 主要是通过光波振幅分割方式, 达到干涉的目的, 有助于相对论建立的同时^[1], 在一定程度上促进了物理学发展。现阶段, 按照迈克尔逊干涉仪原理研究出的各种仪器, 已经在科研及生产领域被广泛应用, 具备较大的发展前景, 因此对其在红外遥测领域的应用进行研究意义重大, 本文对此进行检验分析, 具体如下。

1 迈克尔逊干涉仪工作原理

迈克尔逊干涉仪工作原理为: 通过分光镜, 将一束射入光分为两束后, 经过平面镜进行范围, 由于这两束光存在相同的振动方向及频率, 同时拥有恒定的相位差, 因此可发生干涉。干涉环节, 可对干涉臂长度进行调节, 或改变介质折射率, 对光程进行控制, 最终获得不同的干涉图样。干涉条纹属于等光程差的轨迹, 所以, 若下井对某种干涉图样进行分析, 需要通过实际计算, 获得相关光程差位置分布函数。如果干涉条纹出现移动情况, 说明场点对应的光程差出现了变化, 导致这一情况的原因较多, 可能是光路中某段机制折射率产生了变化, 或者光线长度有所变化, 也可能使薄膜厚度出现了变化。迈克尔逊干涉仪原理图如图1所示。

经不断发展, 迈克尔逊干涉仪逐渐被应用于红外遥测领域, 例如傅里叶红外吸收光谱仪, 主要是通过迈克尔逊干涉原理开展光谱测量工作, 在傅里叶变换下, 得到样品拉曼光谱或红外吸收光谱。相比于棱镜光谱仪, 测量时间更短, 光谱信噪比更高。傅里叶变换光谱仪光源发出的光, 属于通过迈克尔逊干涉仪转变成的干涉光。利用干涉光照射样品, 进而获得干涉图, 随后通过计算机, 将干涉图实施傅里叶变换即可获得红外吸收光谱。此外, 在干涉成像光谱技术方面,

该技术属于可见光红外遥感器的前沿科学, 可用于地球科学、天文物理研究等方面, 也可用于军事侦察中, 获得难以发现的军事目标, 对武器型号及种类进行判断。由此可见, 迈克尔逊干涉仪在红外遥测领域具备较大的应用价值。

2 基于迈克尔逊干涉仪的光谱测试系统的优势

第一, 光通量较高。一般而言, 系统光通量主要通过入射光立体角与横截面积相乘获得, 公式为 $\Theta = A\Omega$, 其中 Θ 为光通量, A 为射入光横截面积, Ω 为射入光立体角。 Ω 计算公式为: $\Omega_{Grating} = \frac{wl}{f^2}$ 。其中, w 表示的是光栅狭缝的宽, l 表示的是狭缝的长, f 表示的是焦距, 可将上式简化为: $\Omega_{Grating} = \frac{1}{R} \frac{l}{f}$, 光栅衍射光谱测试系统光通量公式为: $\Omega_{Grating} = \frac{A}{R} \frac{l}{f}$ 。带有迈克尔逊干涉仪的光谱测试系统, 其光谱分辨本领与立体角息息相关, 公式为 $\Omega_{FTS} = \frac{2\pi}{R}$, R 代表的是光谱分辨本领, $R = \frac{v_{max}}{\Delta v}$, v_{max} 代表最大波数值, Δv 表示的是光谱分辨率, 光通量公式为: $\Theta_{FTS} = 2\pi \frac{A}{R}$ 。从以上分析中得出, 光栅衍射调制系统光通量会受到出入口狭缝宽度影响, 通常 $\frac{l}{f}$ 在 1/30 之内, 所以若想获得较高的分辨率, 需要将高光通量牺牲。而干涉调制下的光谱测试系统, 并不会受到狭缝限制, 具备较高的光通量。

第二, 光谱相应范围宽, 测试时间快。干涉调制光谱测试系统中存在的探测器, 能够进行光源全部频谱信息测试, 不过光栅分光下的光谱测试系统, 不具备较宽的测量波束范围, 相比而言, 干涉光谱测试系统拥有更快的测试时间, 若需测量的光谱通道数量为 N , T 为测量总时间, 光栅分光下的光谱测试系统各通道平均测量时间为 T/N , 干涉光谱测试系统, 能够同时测量所有通道, 各通道测量时间均为 T , 得出该系统的信噪比更高。

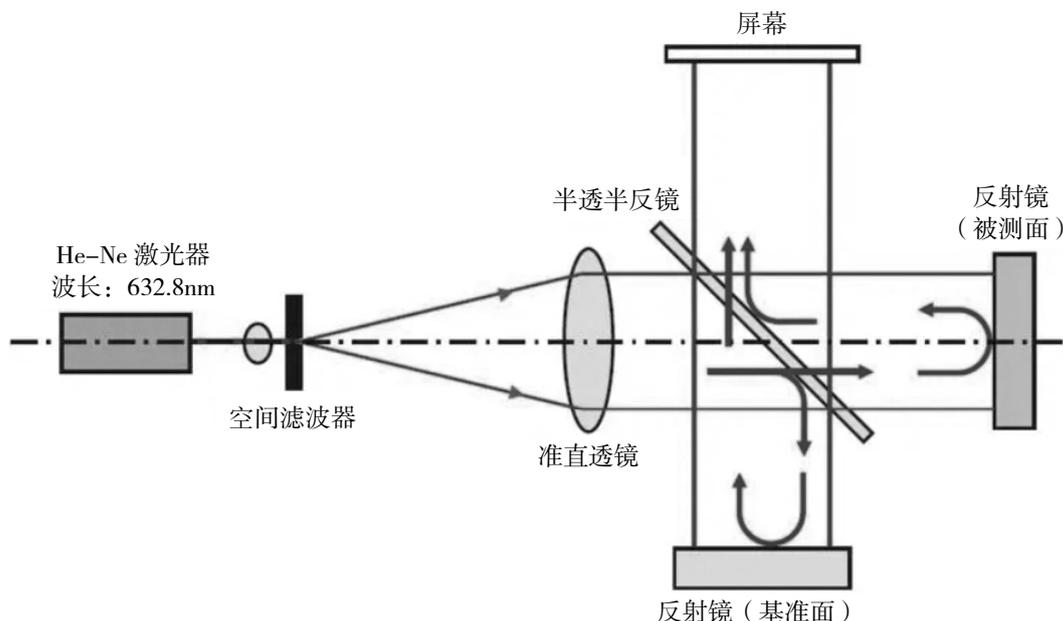


图1 迈克尔逊干涉仪原理图

第三,分辨率高,扫描速度快。干涉光谱测试系统分辨率受光程差影响,光程差不断增大下,系统分辨率也随之提升,在指定波长范围内,若想达到给定的分辨率,将动镜扫描距离增加即可,分辨率能达到 $0.1\sim 0.005\text{cm}^{-1}$ 。在扫描速度上,干涉光谱测试系统应用环节,迈克尔逊干涉仪中的动镜经过一次移动,即可将所有信息采集到。动镜移动速度决定着扫描速度,为提升信噪比,应实施多次测量,求取平均值,可达到光栅调制光谱测试系统的十倍以上。此外,迈克尔逊干涉仪的光谱测试系统还具备较高的波数精度,能够更加准确的确定出动镜位置,波数精度可达到 0.01cm^{-1} 。

3 基于迈克尔逊干涉仪的红外光谱测试系统设计

本文提出的迈克尔逊干涉仪的红外光谱测试系统,主要包括三个部分,第一个部分为光学系统、第二个部分为步进扫描控制模块,第三个部分为探测器驱动及干涉信号采集模块。其中第一部分中的光学系统就是迈克尔逊干涉仪,主要的作用就是产生干涉光;第二部分为步进扫描控制模块,主要作用是同步动镜扫描与数据采集模块;第三个部分主要是进行干涉信号采集工作。

3.1 迈克尔逊干涉仪

选择Bruker V80傅里叶光谱仪中的干涉光路,搭建迈克尔逊干涉仪系统,设备内部存在近红外光源以

及中红外光源,能够随意切换,也能实现红外光源外界,同时,存在两个红外光束入口与五个红外光束出口,可进行多种组件与附件连接。表1为光谱仪相关参数:

表1 光谱仪相关参数

参数	信噪比	分辨率	波数范围
参数值	55000:1	0.06cm^{-1}	$50000\sim 5\text{cm}^{-1}$

第一,红外光源选择。对于红外光源而言,属于光谱测试系统中较为关键的一个核心器件,主要用于产生红外辐射,理想状态下,红外光源光谱可将整个红外波段覆盖住,无需更换光源,能量较高。通常红外焦平面探测器会在三个“大气窗口”工作,一是 $1\sim 3\mu\text{m}$,二是 $3\sim 5\mu\text{m}$,三是 $8\sim 14\mu\text{m}$,红外光源光谱分布需要与红外焦平面探测器工作光谱范围相匹配。按照不同的光谱范围,可将红外光源分成三个类型,一是近红外光源,二是中红外光源,三是远红外光源,选择光源时,应保证与被探测器工作波段相同,可选择碳化硅光源。

第二,光阑。干涉系统中,光阑主要的作用是对光束进行限制,对光阑孔径大小进行调节,能够对入射光的光通量进行控制,孔径越大,入射光就会越多,不过并非孔径越大越好,由于孔径增大下,背景光也会进入其中,所以一般应将其控制在合理范围内。

第三,分束器。分束器主要使将入射光分为两束强度相等的光,通常情况下,分束器会将半透半反膜镀于透明材料上实现,其属于干涉仪较为重要的部分,

本文提出的光谱测试系统,其中存在的分束器能够实现射入红外光束的半透半反。选择分束器时,应结合红外探测器与光源情况,光谱测试环节,利用更换分束器及光源,切换光谱范围。本文提出的光谱测试系统,主要进行中波及长波红外范围探测器的光谱响应,以此选择标准 KBr 分束器。

第四,激光器。通过 He-Ne 激光,对红外干涉信号采样间隔进行确定,He-Ne 激光器实际使用环节,发出的红光波长为 632.8nm,额定输出功率为 5mW。迈克尔逊干涉仪中激光通过后,会产生干涉光,激光干涉信息会被激光探测器采集到的,因为激光器会产生单色光,所以干涉信号属于标准的余弦曲线,因此可根据激光波长及干涉图对动镜移动距离进行判断,从而获得红外干涉信号的具体采样位置,确定出光程差大小。选择 He-Ne 激光器进行采样,精度较高,可获得较好的采样效果。

第五,标准探测器。选择标准热释电探测器,将其作为标准探测器优势较大,一是存在较宽的光谱响应范围,可将红外探测器全部工作波段覆盖住;二是探测器输出不会受到波长影响,存在较为平坦的光谱曲线;三是不仅具备较好的稳定性,还具备较强的抗干扰能力。

3.2 步进扫描控制模块

以迈克尔逊干涉仪为主的光谱测试系统,可通过两种方式采集干涉图,分别是连续扫描以及步进扫描,其中连续扫描表示的是动镜按照一定速度在扫描环节,按照 He-Ne 激光干涉图进行红外干涉信号采集,根据相应时间间隔,进行一次干涉信号采集,为实现光谱分辨率进一步提升,应将动镜扫描的距离适当增加,不过光谱分辨率不断增加下,当动镜扫描长度不断增加下,会降低系统时间分辨率,所以,在连续快速扫描模式应用下,会对时间分辨率产生限制,特别是在高光分辨率的情况下。而步进扫描模式下,能够根据不同的手段,得到较高的时间分辨率,步进扫描环节,动镜会步进到固定位置,此时光程差不会发生变化,探测器采集干涉信号,随后,再通过动镜移动,进行下一个位置干涉信号的采集。因为主要是进行红外焦平面探测器光谱响应测试,通常红外焦平面探测器会根据信号情况,对光敏元阵列组成及电路情况进行了解,所以,光敏元阵列应将光信号向电信号进行转换,在积分电路的应用下,存储电信号,利用移位寄存器输出所有信号,因为这一工作环节属于高频动态模式,所以若选择连续扫描模式,会降低时间分辨率。通过光谱仪的外部触发盒,实现步进扫描控制模块功

能,利用响应的信号接口,对所需信号进行检测,当 XPMTO 信号为高时,开始步进扫描测试,SEQTO 较高时,开始采集相应数据。当动镜步进至新位置时,STPTO 信号会出现一个上升沿,可对其进行检测,对动镜位置进行确定,并利用外部采集卡,采集待测探测器干涉信号。

3.3 红外焦平面探测器驱动与数据采集模块

利用 PXIE 高速总线产品框架,进行测试系统搭建,其中主要有 PXI 机箱 PXIe-1095 及远程控制卡,还包括 1 张数据采集卡、1 张时钟驱动卡、8 张源测量单元、驱动板卡及服务器等。电源模块主要是由 SMU 卡组成,在驱动板卡应用下,使被测探测器获得相应偏压,通过时钟驱动卡,构成时序模块,主要作用是使探测器获得需要的时序信号,当探测器处于正常工作状态时,会在驱动板卡中存在的采集接口的应用下,通过服务器中的采集卡,开展采集工作,服务器中自带的测试系统软件,会利用采集到的数据,计算出相关参数,并进行图像处理等操作。对红外焦平面探测器光谱响应测试时,能够通过数据采集卡,采集干涉信号响应数据,采集卡不仅能够采集干涉信号,还能对信号进行存储,并实时进行信号显示。系统中应用的是 M2P-5923 模拟采集卡,能够进行数据的快速传输,存在 64 路采集通道,可在响应接口的使用下,以每通道 20MHz 的速度,进行数据传输与在线分析,也可将相关数据存储于主机中。各个通道中,均存在放大其以及 16 位 ADC,具备较广的电压范围,共包括六档,最高可达 $\pm 500\text{mV}$,最低为 $\pm 1\text{V}$ 。可通过 Spectrum 程序中采集卡的 API 采集相关数据,通过 DMA 模式采集,向计算机中存储采集到的数据信息。

4 结语

综上所述,迈克尔逊干涉仪在不断发展中,已被广泛应用于各个领域,并充分发挥出了实际作用。当前,迈克尔逊干涉仪也逐渐应用于红外遥测领域,将其应用于光谱测试系统构建中,具备较大的优势,如具备较高的光通量、分辨率、信噪比,并且扫描速度较快,光谱范围较宽,能够获得较好的信号采集效果。在未来,红外遥测领域,迈克尔逊干涉仪势必会得到更加深入的应用,实现红外遥测水平的不断提升。

参考文献:

- [1] 郑晨,冯文林,何思杰,等.用于测量折射率的光纤迈克尔逊干涉型传感器[J].红外与激光工程,2022,51(05):399-403.