

## 便携式近红外光谱仪器现状及展望

于新洋<sup>1,2</sup>, 卢启鹏<sup>1\*</sup>, 高洪智<sup>1</sup>, 彭忠琦<sup>1</sup>

1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033
2. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要** 近红外光谱分析技术具有速度快、操作简单等优点,在农业、制药等行业得到了大量应用,其中一些应用需要将仪器携带到分散的分析现场使用,为满足这一需求,很多体积小、便于移动的便携式近红外光谱仪被研制出来。这些仪器的种类较为繁多,采用了很多不同的基本原理,使用了不同的光路结构。文章综述了国内外便携式近红外光谱仪的技术现状,根据光路结构的不同将仪器分成滤光片型、光栅型、傅里叶变换型、声光可调滤波器型以及使用微机电系统(MEMS)的新型光谱仪等类型,重点介绍各类仪器的原理和主要部分的结构,同时简要介绍不同类型仪器的特点,并列举典型产品。也对测量附件、操作、显示等外围部分的设计作简要介绍,这些附件针对便携应用采取了特殊的设计。通过介绍,为新型便携式近红外光谱仪的研制提供借鉴。最后,对便携式近红外光谱仪器的现状作总结,并对未来国内外技术的发展进行展望。

**关键词** 近红外光谱仪; 便携式

中图分类号: O433.1; O657.33

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2013)11-2983-06

### 引言

近红外光谱分析技术具有速度快、效率高、样品处理简单等优点,近几十年在农业、制药、石化等领域得到了广泛应用。这些行业很多时候需要体积较小、方便移动的仪器用于现场分析。为满足这一需求,众多科研机构和企业基于不同的技术研制出了多种轻便、紧凑的近红外光谱仪。这些仪器大的可以车载,小的可以手提甚至手持,被统称为便携式近红外光谱仪。

便携式近红外光谱仪器的种类很多,采用了多种不同的原理,并且不断有新的技术出现。依据光路结构的不同,将仪器大致分成以下类型:滤光片型、光栅型、傅里叶变换型、声光可调滤波器型,以及众多使用 MEMS 技术的新型仪器。本文将分别介绍这些仪器的原理,并简要分析不同结构的优缺点。之后介绍厂家为使仪器更适合便携应用,在操控、显示、测量等附件方面的设计。最后对便携式近红外光谱仪器的技术现状作总结并展望未来的发展趋势。

### 1 便携式近红外光谱仪所采用的不同光路结构

便携式近红外光谱分析仪器使用了很多不同的光路结构,可以分成滤光片型、光栅型、傅里叶变换型等不同类型,下面将分别对各个类型进行说明。

#### 1.1 滤光片型

滤光片型仪器是最早出现的近红外光谱仪,有少数便携式仪器使用了滤光片分光。这些仪器使用固定的滤光片,坚固耐用,适合手持。

##### 1.1.1 使用 LED 阵列的滤光片型光谱仪

Zeltex 公司的 ZX-50 系列手持式近红外粮食分析仪是这类光谱仪的典型代表<sup>[1]</sup>,仪器采用 12 个 LED 作为光源,对应 12 个波长的窄带滤光片,波长范围为 893~1 045 nm。如图 1(a)所示,依次控制各个光源发光,由单点探测器接收透射光,数据处理后由液晶屏显示出蛋白质等成分的含量。中国农业大学也开发出类似的以近红外 LED 为光源的整粒小麦成分分析仪。

LED 的功耗比卤钨灯光源要低得多,适合用在以电池供

收稿日期: 2013-03-11, 修订日期: 2013-05-28

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2012AA022602), 国家自然科学基金重点项目(60938002), 中国科学院知识创新工程领域前沿项目(Y00232Q100), 吉林省与中国科学院合作长吉图开发开放先导区科技创新合作专项资金项目(2012CJT0021)资助

作者简介: 于新洋, 1988 年生, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士研究生 e-mail: xinyang.yux51@gmail.com

\* 通讯联系人 e-mail: luqipeng@126.com

电的便携式仪器上。仪器结构简单,稳定性高,成本也比较低,适合在粮食检测等专用领域大规模使用。

### 1.1.2 使用线性渐变滤光片的光谱仪

线性渐变滤光片(linear variable filter, LVF)是一种光谱特性随滤光片位置线性变化的光学薄膜器件,各膜层的厚度沿基片长度方向呈线性变化,不同的空间位置对应于不同的通带中心波长<sup>[2]</sup>,具有体积小,重量轻,稳定性好等优点。线性渐变滤光片与阵列探测器相结合,即可组成一个中分辨率的光谱仪。JDSU 的 MicroNIR 系列使用了这种滤光片分光<sup>[3]</sup>,仪器使用两个小功率卤钨灯做光源,漫反射光经线性渐变滤光片分光后,由紧贴在滤光片后面的 InGaAs 线阵探测器接收[图 1(b)],探测器共有 128 像元,分辨率为中心波长的 1.25%。

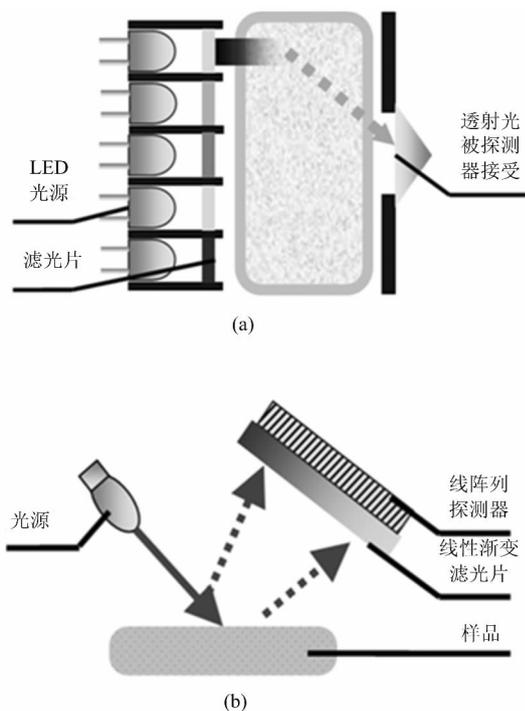


Fig 1 The optical layouts of ZX-50 (a) and MicroNIR1700 (b)

使用线性渐变滤光片和线阵列探测器,可以简化仪器的光路结构,使仪器更加紧凑、轻便, MicroNIR 系列的重量仅有不到 60 g,可置于掌心。其全静态结构也有很高的稳定性,适合手持使用。

## 1.2 光栅型

### 1.2.1 光栅扫描型

光栅扫描型光谱仪是最早的光栅分光型光谱仪,由步进电机带动光栅转动进行光谱扫描,使用单点探测器检测。这种仪器最大的缺点是有移动部件,这导致仪器抗震性差,扫描速度相对较慢。

光栅扫描型仪器大多是体积较大的实验室用仪器,部分厂家将仪器小型化,做成方便移动的便携式仪器,但是体积仍然偏大,也比较重。总的来讲,由于需要使用移动部件,使用这种结构的便携式近红外光谱仪比较少,典型的有南京中地仪器的 ZDJIPB-1<sup>[4]</sup>,分辨率优于 7 nm,信噪比(RMS)

为 8 000 : 1,但扫描速度较慢,测量时间为 60 s。

### 1.2.2 固定光路阵列检测型

固定光路阵列检测型是便携式光谱仪中最常见的类型。入射光经凹面镜准直,之后由固定光栅分光,再由凹面镜聚焦到线阵列探测器上。多数仪器使用折叠交叉式 Czerny-Turner 光路,以减小仪器的体积<sup>[5]</sup>。也有使用凹面全息光栅,省去用于准直和成像的光学元件,进一步简化光路。最简单的光谱仪仅由入射光纤、凹面光栅和探测器组成,光谱仪更加坚固、紧凑,提高了可靠性。探测器方面,廉价的硅探测器可探测 1 100 nm 以下的光谱; InGaAs 探测器的响应范围在 1 000~1 700 nm,扩展型可至 2 600 nm;另外还有少数采用其他探测器。这类仪器的光谱采集速度要比光栅扫描型快得多,但线阵探测器单个像元面积小,不同像元间有串扰,仪器的信噪比要差一些。

使用固定光栅的阵列检测型便携式近红外光谱仪结构简单,容易制作,生产厂家非常多,如 Ocean Optics、B&W Tek、Avantes、聚光、晶飞等。很多使用硅探测器的便携式专用仪器,被大量应用于粮食生产等领域中,如 FOSS 的 Infracore Sofia<sup>[6]</sup>系列被广泛地应用于美国的农场中,仪器可以独立工作,粮食的成分信息可以直接显示在屏幕上。InGaAs 探测器一般被用在通用型仪器上,仪器具有更丰富的功能。值得注意的是,很多厂商将阵列检测型仪器做成光谱仪模块,一般只有手掌大小,用户可以选取不同的光源和测量附件,用于不同的分析场合。

### 1.3 傅里叶变换型

傅里叶变换型光谱仪的光通量大、分辨率高,中红外波段的大型仪器比较多,而近红外波段的便携式仪器则较少。一是因为近红外分析的现场应用一般不要求很高的分辨率;二是由于傅里叶光谱仪一般有可移动的部件,抗震性差,很难做成便携式仪器。近些年来傅里叶光谱仪的光路结构一直在不断的改进,出现了一些便携式甚至手持式的仪器,这些仪器一般使用中红外波段,应用于近红外的有 Bruker 的 MATRIX 和 Thermo 的 Antaris MX 等少数产品,可以置于手推车上或车载使用。

不同于传统的时间调制型傅里叶光谱仪,还出现了一些静态的空间调制型仪器,它们使用 Sagnac 干涉仪、偏振型干涉仪等结构产生干涉图,由线阵探测器进行检测,不再需要移动部件<sup>[7,8]</sup>。这类便携式傅里叶近红外光谱仪还比较少,已经商业化的有 ARCSpectro 的 HT-NIR 型光谱仪。如图 2 所示,仪器基于偏振干涉原理,使用了双折射晶体棱镜作为分光器。仪器结构紧凑,速度快、稳定性好,精度小于 0.5

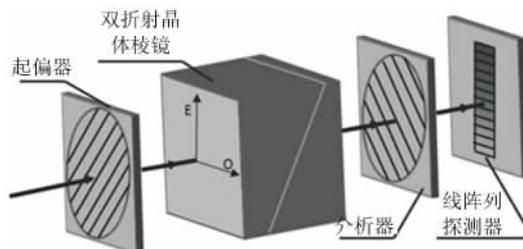


Fig 2 Spatial scanning with birefringent elements and detector arrays

nm, 但分辨率(10~20 nm)和信噪比(大于 1 000 : 1)都低于传统傅里叶光谱仪。

#### 1.4 声光可调滤波器型

声光可调滤波器(acousto optical tunable filter, AOTF)应用了声光效应。在超声波作用下晶体的折射率发生周期性变化, 产生与透射光栅相似的效果。由于施加在晶体上的超声波频率与所检测的一级衍射光的波长一一对应, 所以通过改变超声波频率可以精确地控制所选择的波长, 而且波长转换的速度非常快, 可达每秒 16 000 个波长。AOTF 还具有光通量大的特点, 有利于提高信噪比。

AOTF 是适合用于近红外光谱仪便携化的单色器, 光路全静态, 体积小, 稳定性高, 可以采用一体化全密封设计。Brimrose 公司对这类近红外光谱仪的研究比较早, 已经把成果用在了火星探测车上, 并且有多款产品。其中 Luminar 5030 为手持式, 所有光路被集中在手持的枪式探头上, 并带有电池和显示屏, 适合移动应用。这种仪器精度为  $\pm 0.5$  nm, 稳定性较好, 长时间不超过 0.01 nm。但 AOTF 晶体价格非常昂贵, 导致这类便携式仪器的应用受到一定的限制。国内多个团队开发过使用 AOTF 的近红外光谱仪, 完成了便携式仪器的样机<sup>[9-11]</sup>。

#### 1.5 使用 MEMS 技术的新型光谱仪

微机电(microelectro-mechanical-system, MEMS)技术的发展大大促进了微型光谱仪的发展。一方面, 在微观尺度实现光学元件的运动, 可以将光路微型化、芯片化, 使有运动部件的光路结构也适合应用在便携式仪器中, 大大提高了仪器的抗干扰能力, 同时减小仪器的体积。另一方面, 微观尺度的物理原理与宏观世界有很大不同, 会出现一些新的效应, 于是出现了一些基于新原理的光谱仪。下面将介绍使用了 MEMS 技术的便携式近外光谱仪。

##### 1.5.1 微型扫描光栅

德国 Fraunhofer 实验室将光栅、扫描旋转装置集成在一个芯片上, 代替传统光栅扫描式光谱仪中的扫描光栅<sup>[12]</sup>。光栅通过两个扭转弹簧悬挂在底架上, 由静电力驱动使光栅镜面产生周期性摆动, 10 ms 之内就可以完成一次全光谱扫描。国内重庆大学也利用自身的微加工技术成功研制出类似的扫描光栅微镜, 驱动方式改为电磁力驱动, 并集成了角传感器。

微型扫描光栅将所有移动部件集成在一个芯片上, 扫描速度快、体积小、抗干扰, 保持了传统光栅扫描型光谱仪的优点, 去除了不利于便携化的因素。Hiperscan 公司采用 Fraunhofer 实验室的技术生产了 SGS 系列产品<sup>[13]</sup>, SGS1900 仅重 800 g, 适合随身携带。仪器的分辨率约为 10 nm, 波长稳定度小于 0.5 nm。

##### 1.5.2 扭转微镜

与微型扫描光栅类似, 扭转微镜也通过扭力梁固定, 在驱动力作用下快速摆动<sup>[14]</sup>。微镜将入射光反射至固定光栅, 光栅分光后, 由探测器接收。微镜不断摆动, 光谱也会发生移动, 从而实现光谱扫描, 扫描的速度也比较快。

旋转微镜价格便宜、技术比较成熟, 有团队研制了利用旋转微镜进行光谱选择的微型光谱仪<sup>[15, 16]</sup>, 分辨率 15 nm,

波长精度小于  $\pm 1.5$  nm, 信噪比 5 000 : 1, 达到了实用要求。

##### 1.5.3 微镜阵列

微镜阵列(digital micromirror device, DMD)芯片上可以集成多达上百万个微小反射镜片, 被广泛应用于投影仪中。镜片可以小角度转动, 由静电力控制保持在正 12 度或负 12 度处。很多研究机构尝试使用微镜阵列实现光谱选通, 这类仪器使用固定光栅分光, 光栅出射的光照射到 DMD 芯片上, 当微镜转向正 12° 时, 会将光反射到探测器上, 依次控制每一列微镜转动, 使各单色光依次照射探测器。

使用 DMD 进行光谱选择的仪器, 以低成本的 DMD 芯片和单点探测器代替光栅阵列型光谱仪中的线阵列探测器, 成本大大降低。仪器的光路结构比较简单, 容易制作。典型的有华夏科创的 HT100 型便携式阿达玛变换光谱仪<sup>[17]</sup>, 仪器使用了 100 组微镜进行光谱选通, 以不同的组合(阿达玛模板)选通多列微镜实现阿达玛变换, 信噪比要比不使用变换提升很多。波长精度:  $\pm 0.6$  nm。仪器经过各种工业现场的试验, 稳定性较好。

##### 1.5.4 Fabry-Perot 滤波器

Fabry-Perot 滤波器利用多光束干涉原理, 特定波长的光能够以极大值透过率通过, 其他波长则被阻隔。通过改变共振腔的腔长, 从而改变所选定光的波长<sup>[18]</sup>。F-P8 滤波器已经在通讯等领域得到了应用, 改进后可以作为分光元件用于光谱仪。

Axsun 的 IntegraSpec 系列便携式近红外光谱仪使用了高精度的 F-P 滤波器<sup>[19]</sup>。滤波器腔的一面反射镜固定, 另一面反射镜由静电力驱动前后移动。调整电压可以改变腔长, 波长满足条件的光通过中间的小孔经光纤引出照射样品, 不满足条件的光大部分被阻隔<sup>[20]</sup>。动镜的直径只有 1 mm, 而整个光学平台包括 SLED 光源等部件被封装在仅 14 mm 长的芯片中, 这使得仪器非常紧凑。仪器的波长精确度小于 0.025 nm, 信噪比(250 ms, RMS)为 5 500 : 1。

##### 1.5.5 可编程光栅

MEMS 技术可以使光栅结构单元根据程序控制产生周期的形变, 实现对光栅常数、闪耀角、槽深等参数的调节, 改变衍射光的能量分布。多种可编程光栅已经被应用在便携式近红外光谱仪中。

Polychromix 的 microPHAZIR 系列仪器使用了一种可编程光栅进行光谱选择<sup>[21]</sup>。光栅芯片集成了数千个并列排布的长条形微反射镜, 这些反射镜组成了 100 个单元, 每个单元有 12 个反射镜。如图 3(a) 所示, 各个单元中单数位的反射镜可以上下移动, 通过改变控制电压调整位移量, 产生改变反射光和衍射光比例的效果, 而最终只有反射光会被探测器接收。仪器使用固定光栅分光, 通过控制光栅芯片中不同的单元处于反射状态, 可以改变所选择的波长。仪器为手持式, 自带电池和 LCD 屏幕, 具有很高的集成度。

ARCSpectro 的 ANIR 系列便携式近红外傅里叶光谱仪, 主要部件采用了纵深可调的层状光栅。如图 3(b) 所示, 光栅由并列的长条形反射镜组成, 其中一半的反射镜是可以移动的。这些动镜和其他的固定镜片相间分布的, 两种镜片的高

度不同,光被反射后产生干涉图,由单点探测器检测。层状光栅可以看成是存在高度差  $d$  的两个光栅,强度公式为

$$I = I_0 \left( \frac{\sin K}{K} \right)^2 \left( \frac{\sin 2nK}{\sin 2K} \right)^2 \cos^2 \left( \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1)$$

其中,  $K = (\pi a / 2\lambda) \sin \theta$ ,  $\varphi = (2\pi / \lambda) \sigma$ ,  $\sigma = d(1 + \cos \theta + a \sin \theta / 2d)$ ,  $a$  为光栅周期,  $\theta$  为衍射角。比光栅的强度分布公式多了由高度差  $d$  引起的相移项,探测器检测的是零级衍射,中心位置的光程差为  $2d$ ,检测到的强度为

$$I = I_0 \cos^2 \left( \frac{2\pi d}{\lambda} \right) \quad (2)$$

与使用迈克尔逊干涉仪的傅里叶光谱仪类似,由强度值经傅里叶变换得到谱密度。通过静电力驱动动镜统一前后移动,从而完成扫描<sup>[22, 23]</sup>。光栅芯片仅有 5 mm 宽,整个仪器也非常紧凑。仪器的波长范围 500~2 600 nm,分辨率 20  $\text{cm}^{-1}$ ,波长精度小于 0.5 nm,信噪比(SNR, 5 s)为 15 000。

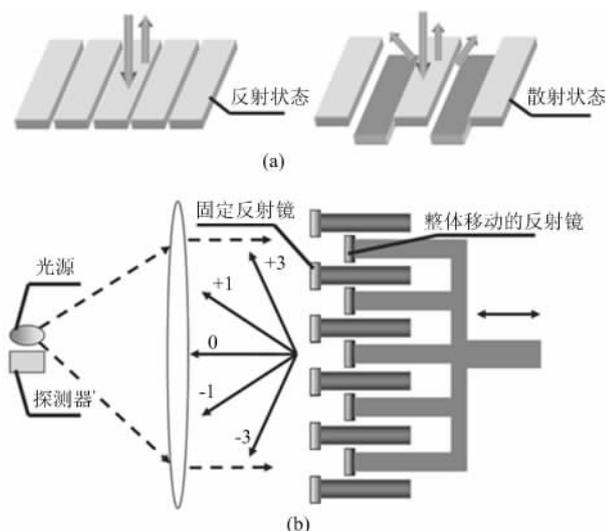


Fig 3 (a) Multi-layer MEMS chip;  
(b): Lamellar grating interferometer

基于 MEMS 技术的光谱仪体积小、重量轻、性能稳定而且速度快、功耗低,非常适合做成便携式仪器。应用于微型光谱仪的 MEMS 技术非常多,还有非常多的团队在尝试使用新的光路结构,而基于新原理的分光技术也不断出现<sup>[24, 25]</sup>。近红外光谱分析领域会出现更多这类便携式产品。

## 2 便携式近红外光谱仪的外围部分

为了方便移动,便于现场分析使用,满足各种不同的环境。便携式近红外光谱仪不仅采用更紧凑、更稳定的光路结构,同时在操控、显示、测量等附件方面采取了很多人性化的设计。

供电方面,便携式仪器都尽量降低功耗,并使用不同的移动供电方式。很多仪器自带电池,并有较长的续航时间;有些仪器采用 USB 供电或使用车载电源供电,可以脱离市电插座使用。

便携式仪器一般被用于各种分析现场,需要实时得出数

据。有的仪器只负责采集数据,将采集到的数据传送至手提电脑或掌上电脑,利用电脑强大的处理能力配合专门的软件进行光谱分析;专用型仪器一般可以独立完成数据处理工作,给出特定成分的含量信息,功能比较固定,一般配有小型显示屏用于显示结果;一些功能强大、用途较多的光谱仪将电脑设计成仪器的一部分,可定制性强,安装了专业的光谱分析软件,可以独立完成更复杂的工作。

各种便携式近红外光谱仪器为适应不同场合、完成不同的检测工作,检测样品的附件采取了多种不同的设计。专用型仪器一般采取固定的采样方式,比如测粮食、油品等都有专门设计的样品池。手持式仪器大部分可以直接通过透射窗进行检测,功能较多的仪器会增加一些探头和样品池。很多仪器配有标准的 SMA 光纤接口,根据测量需要可以选择探头、样品池、积分球等测量附件。光纤的使用也促进了便携式近红外光谱仪向模块化发展,很多光谱仪特别是光栅阵列型的仪器,本身被设计成波段不同的模块,不同的光源和各种测量附件通过 SMA 接口通用,实验人员将光谱仪和各种模块同时携带,根据现场需要,随时更换。

## 3 总结与展望

便携式近红外光谱仪种类繁多,采用多种不同的光路结构,各种分光原理各有利弊,适合不同的应用领域。滤光片型、光栅阵列型、傅里叶变换型等传统结构的仪器目前占主导地位,并且得到不断的改进。随着 MEMS 技术的发展,近些年出现了一大批基于这种技术的新型便携式近红外光谱仪,这些仪器集成度非常高,体积小、结构坚固,具有很多传统结构所不具有的优势。MEMS 技术使很多新奇的想法得以实现,大规模生产也有利于降低仪器的成本。很多科研机构 and 高校在将最新的 MEMS 技术应用于近红外光谱仪的开发,很多拥有 MEMS 设计经验的企业也从通讯等行业进入近红外分析领域,他们共同促进了近红外光谱仪技术的发展。这个方向是微型光谱仪的热点,未来随着技术的成熟,加工精度的提高,使用 MEMS 技术的便携式近红外光谱仪会越来越多。

国内近红外光谱仪的研究起步较晚,相比于应用研究,仪器的研制与世界先进水平差距较大,成熟仪器比较少,中高端仪器基本依赖进口。虽然已经有几种商品化的便携式近红外光谱仪,但是仪器的类型比较单一,固定光栅阵列检测型占大多数。相比国外同类型的光谱仪,各项指标已经比较接近,但是体积偏大,有待优化。采用 AOTF 等技术的便携式光谱仪还处于研发阶段,国内有多个团队在进行研究,有的已经试制出了样机。对于 MEMS 技术,国内的研究单位比较多,国家也非常重视,有团队在尝试将 MEMS 技术用于近红外光谱仪,研究水平也从简单仿制渐渐提升到自主创新的高度,但是还处于研发阶段。近红外仪器的研制还受到材料、先进制造技术等方面技术水平的限制,很多关键部件还无法制造,这一问题的解决有赖于国家层面针对科学仪器的发展规划,科学仪器研制水平的整体提高。国家重大仪器专项已经明确了近红外分析仪器这个研究方向,未来近红外光

谱仪的研制会得到更大扶持。

便携式近红外光谱仪被广泛应用在农业、制药、高分子等行业分散的分析现场中。很大程度上提高了检测效率,节省了检测成本,是非常重要的—类快速检测仪器。是近红外

光谱仪发展的一个重要方向。这类仪器的应用范围还在不断扩大,有很大需求,将扩展到医疗、海关、质检等领域。因此要推动科研机构与企业合作,研发适合国内使用的各种便携式近红外光谱仪器,并尽快产业化。

## References

- [ 1 ] www.zeltex.com.
- [ 2 ] QIN Jie-yu, LUO Chong-tai, MA Mian-jun, et al(秦洁玉, 罗崇泰, 马勉军, 等). Optical Technique(光学技术), 2006, 32(8): 236.
- [ 3 ] www.jdsu.com/ProductLiterature/micronir1700-spectrometer-ds-co-ae.pdf.
- [ 4 ] ZHENG Zhi-zhong, CHEN Chun-xia, XIU Lian-cun(郑志忠, 陈春霞, 修连存). Modern Scientific Instruments(现代科学仪器), 2008, (2): 25.
- [ 5 ] www.bwtek.com/products/sol-1-7.
- [ 6 ] www.foss.dk/industry-solution/products/infratec-sofia.
- [ 7 ] LU Wan-zhen(陆婉珍). Modern Near Infrared Spectroscopy Analytical Technology(现代近红外光谱分析技术). 2nd ed(第 2 版). Beijing: China Petrochemical Press(北京: 中国石化出版社), 2006. 117.
- [ 8 ] ZHENG Yu-quan, YU Bing-xi(郑玉权, 禹秉熙). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2002, 6(1): 75.
- [ 9 ] GAO Ming-hui, LIN Jie-qiong, LIAN Feng-hui, et al(高明辉, 林洁琼, 廉凤慧, 等). Journal of Changchun University of Technology · Natural Science Edition(长春工业大学学报·自然科学版), 2008, 29(3): 314.
- [ 10 ] BI Wei-hong, TANG Yu-jun, YANG Xiao-li, et al(毕卫红, 唐予军, 杨小莉, 等). Semiconductor Optoelectronics(半导体光电), 2005, 26(3): 264.
- [ 11 ] CHANG Min, ZHANG Xue-dian, LI Chao-yang, et al(常敏, 张学典, 李朝阳, 等). Modern Instruments(现代仪器), 2004, (3): 40.
- [ 12 ] Schenk H, Durr P, Haase T, Kunze D, et al. Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2000, 6(5): 715.
- [ 13 ] www.hiperscan.com.
- [ 14 ] YANG Mei, HAN Xiang, LIN Chuan-li, et al(杨梅, 韩翔, 林川力, 等). Nanotechnology and Precision Engineering(纳米技术与精密工程), 2006, 4(4): 326.
- [ 15 ] HU Fang-qiang, LI Sheng(胡方强, 李晟). Instrumentation Technology(仪表技术), 2012, (12): 21.
- [ 16 ] SU Lei-long, JIANG Shu-bo, CHENG Ming-xiao, et al(苏雷龙, 蒋书波, 程明霄, 等). Transducer and Microsystem Technologies(传感器与微系统), 2011, 30(10): 120.
- [ 17 ] LEI Meng, FENG Xin-lu, ZHANG Xin-min, et al(雷猛, 冯新沪, 张新民, 等). Modern Scientific Instruments(现代科学仪器), 2008, 4(8): 44.
- [ 18 ] ZHANG Jian-fei, ZHUANG Xu-ye, WANG Wei-min, et al(张建飞, 庄须叶, 汪为民, 等). Acta Optica Sinica(光学学报), 2012, 32(8): 0822005.
- [ 19 ] Dale C Flanders et al. U. S. Patent, 6525880. 2001.
- [ 20 ] www.axsun.com/products/nir-spectroscopy.php.
- [ 21 ] Sinclair M B, Pfeifer K B, Butler M A, et al. Micromachining and Microfabrication. International Society for Optics and Photonics, 2004: 37.
- [ 22 ] Manzardo O, Herzig H P, Marxer C R, et al. Optics Letters, 1999, 24(23): 1705.
- [ 23 ] Manzardo O, Michaely R, Schadelin F, et al. Optics Letters, 2004, 29(13): 1437.
- [ 24 ] Menchon-Enrich R, Llobera A, Vila-Planas J, et al. Light: Science & Applications, 2013, 2(8): e90.
- [ 25 ] Talghader J J, Gawarikar A S, Shea R P. Light: Science & Applications, 2012, 1(8): e24.

## Current Status and Prospects of Portable NIR Spectrometer

YU Xin-yang<sup>1,2</sup>, LU Qi-peng<sup>1\*</sup>, GAO Hong-zhi<sup>1</sup>, PENG Zhong-qi<sup>1</sup>

1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract** Near-infrared spectroscopy (NIRS) is a reliable, rapid, and non-destructive analytical method widely applied in a number of fields such as agriculture, food, chemical and oil industry. In order to suit different applications, near-infrared spectrometers are now varied. Portable near-infrared spectrometers are needed for rapid on-site identification and analysis. Instruments of this kind are rugged, compact and easy to be transported. In this paper, the current states of portable near-infrared spectrometers are reviewed. Portable near-infrared spectrometers are built of different monochromator systems: filter, grating, Fourier-transform methods, acousto-optic tunable filter (AOTF) and a large number of new methods based on micro-electro-mechanical systems (MEMS). The first part focuses on working principles of different monochromator systems. Advantages and disadvantages of different systems are also briefly mentioned. Descriptions of each method are given in turn. Typical spectrometers of each kind are introduced, and some parameters of these instruments are listed. In the next part we discuss sampling adapters, display, power supply and some other parts, which are designed to make the spectrometer more portable and easier to use. In the end, the current states of portable near-infrared spectrometers are summarized. Future trends of development of portable near-infrared spectrometers in China and abroad are discussed.

**Keywords** Near infrared spectrometer; Portable

(Received Mar. 11, 2013; accepted May 28, 2013)

\* Corresponding author