

微型平像场近红外光谱仪的消杂散光设计

陈万英^{1,2}, 唐玉国¹, 巴音贺希格¹, 崔继承¹, 冯树龙¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:设计和研制了结构紧凑、杂散光低的微型平像场近红外光谱仪。在分光系统设计中不采用附加杂散光遮挡装置的常规方法,而是在准直物镜前设置一块直径为8.5 mm的平面反射镜,通过调节平面反射镜改变入射光束的空间角,使光束全部被准直镜接收,不再产生旁光,从而有效地消除系统内的杂散光,使仪器整体杂散光水平降低了1.13%。另外,该光谱仪选择线阵CCD作为探测器件,不再设置冷却系统也避免了平面光栅带有扫描旋转机构。由于使用CCD作探测器和新的消杂散光设计方法,该光谱仪实现了微型化。

关键词:微型平像场;近红外光谱仪;消杂散光设计

中图分类号:TH744.1 文献标识码:A

Suppression of stray light in micro flat-field near-infrared spectrometer

CHEN Wan-ying^{1,2}, TANG Yu-guo¹, Bayanheshig¹, CUI Ji-cheng¹, FENG Shu-long¹

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

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: A micro flat-field near-infrared spectrometer with simple structures and lower stray light was designed and developed. By comparing with the conventional method in which a additional installment was taken as a dispersion system to suppress the stray light, this method installed a plane mirror with a diameter of 8.5 mm in front of the collimation mirror to control the incident light. By adjusting the mirror, the angle of the incident light was changed and the light could be received by the collimation mirror totally without bypass light. Using this method, the stray light of the system has been reduced approximately by 1.13%. Furthermore, a linear array CCD detector was chosen as a receiving component to avoid the cooling system and scanning rotary mechanism of plane grating. By using the CCD detector and new stray light suppressing method, the flat-field

收稿日期:2009-01-11;修订日期:2009-03-17

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重大项目(No. 2006BAK03A02);国家创新方法工作专项项目(No. 2008IM040700);国家重大科研装备研制项目(No. ZBYZ2008-1);中国科学院重大科研装备研制项目(No. YZ200804);吉林省科技发展计划项目(No. 20070523, No. 20086013);长春市应用技术研究计划项目(No. 08Y307)

near-infrared spectrometer has been microminiaturized.

Key words: micro spectrometer; structural design; optical design; stray light suppression

1 引言

近红外(NIR)光谱是近些年发展最为迅速的分析技术之一。20世纪80年代后,随着计算机技术的发展,以及化学计量学方法在解决光谱信息提取和消除背景干扰方面取得的进展,数字化光谱仪器与化学计量学方法的结合形成了现代近红外光谱技术。近年来,近红外光谱技术在许多领域得到了实际应用,为推进生产和科研领域的技术进步发挥了巨大作用^[1~4]。

近十年来,国内许多科研院所和大专院校开始积极研究和开发适合国内需要的近红外光谱分析技术,并研制出一批应用于农业、制药、烟草和食品等多个领域的仪器^[5]。其中,依据矿物中部分分子官能团对近红外光的吸收特性,获得其物质成分及含量的信息是近红外光谱技术的又一新的应用领域^[6~8]。本文给出的微型平像场近红外光谱仪就是为了满足矿物成分检验需求而开发的一种便携式测试仪器。

近年来,随着微光学、微电子和微机械的综合应用,微型光机集成系统应运而生。在此基础上发展起来的微型光谱仪具有许多大型光谱仪所不具备的优点,如重量轻、体积小、探测速度快、使用方便、可集成化等等。因此,微型光谱仪在应用领域显现出了独特优势。然而,传统的近红外光谱仪器具有结构复杂、体积庞大、受地点环境限制和无法便携使用的缺点,因此,实现仪器的小型化甚至微型化,成为红外光谱技术领域追求的目标之一^[9]。

传统近红外光谱仪体积大、结构复杂的主要原因有3个方面:(1)采用挡光光阑和挡光板来消除系统杂散光,(2)探测器需要冷却装置,(3)大多采用扫描机构。采用线阵 CCD 作为探测器件,可以方便地解决上述(2)和(3)两个问题,但由于挡光装置的存在,严重阻碍了系统的小型化。基于此,本文开发了一种体积小、结构紧凑、可供不同环境下使用的 700~1 100 nm 的微型平像场

光谱仪,该光谱仪选择线阵 CCD 作为探测器件,摒弃冷却系统和扫描旋转机构,并在准直物镜前设置一块直径为 0.85 cm 的反射镜,代替复杂的消杂光装置,进而实现了仪器的小型化,便于野外矿物实地测量时的便携使用。

2 光学系统仿真及仪器设计

建立光学系统模型,由光学设计软件仿真得到的仪器分光系统如图 1 所示。分光系统采用 C-T(Czerny-Turner)型,该系统结构简单、紧凑,光

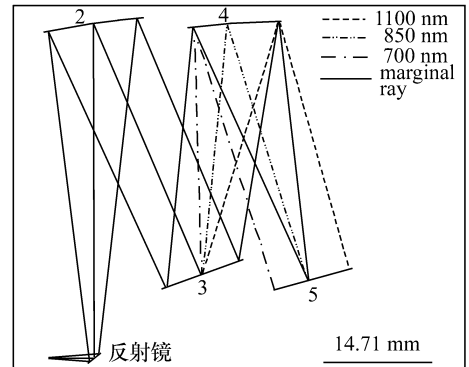


图 1 微型平像场光谱仪光学系统二维图

Fig. 1 Two-dimensional diagram of optical-system in micro flat-field spectrometer



图 2 微型平像场近红外光谱仪

Fig. 2 Object diagram of micro flat-field spectrometer

学器件少;物和像分别处于光轴的两端,仪器的总彗差等于准直物镜和成像物镜的彗差之差,即总彗差小^[10];入射光和衍射光夹角为定值,便于后端调试和标定。仪器实物如图2所示。整个系统由光源与照明系统(9 cm × 9 cm),分光系统(10 cm × 10 cm)和接收系统组成。入射光经聚焦镜聚焦,通过光纤进入分光系统,直径为0.85 cm的平面反射镜把入射光反射到准直镜上,来自于准直镜的平行光经光栅色散后,经成像镜聚焦于线阵 CCD 的感光面,由 USB AD 数据采集卡接收,进行 A/D 转换,最后在计算机上进行谱图显示。

通常扫描式光谱仪多采用单色仪结构,在出射狭缝后放置光电倍增管,通过机械或电动方式转动分光元件实现各波长的扫描,进而通过图像重建获得光谱图像。这种方法效率较低,装置及处理方法都比较复杂。目前,CCD 技术发展逐渐趋于成熟,应用越来越广泛,已有不少光谱仪使用 CCD 作为探测器,其光学系统属于多色仪结构,谱面由 CCD 一次接收。本文研制的微型平像场光谱仪即采用 CCD 接收光谱,利用数据采集卡将数据传入计算机进行处理。仪器主要技术参数如表1所示。

表1 仪器参数表

Tab.1 Specifications of spectrometer

波长	分辨率	重量	电源
700 ~ 1 100 nm	2 ~ 5 nm	<2 kg	电池

3 消杂散光效果分析

3.1 分光系统杂散光仿真

杂散光对仪器测量精度影响很大^[11]。在单色仪中,杂散光光强被列为必须考核的指标之一。因此,消除杂散光也是光谱仪器设计者几十年来一直追求的目标。

杂散光的来源可归纳为3个方面:第一,光学零件工作表面的余留反射光,非工作表面的多次反射光和光学零件内部缺陷所造成的散射光;第

二,仪器内部的金属零件和内壁的多次反射光;第三,直接入射到接收器上的旁光。传统消杂散光的方法有很多,例如,加挡光板、仪器内壁、内部金属零件和光学零件的非工作面涂黑、有关主要结构密封,防止漏光等。

第一、第二类杂散光的消除相对容易。旁光的消除与仪器光学系统有关,兼顾消杂散光和仪器小型化时,问题就变得较为复杂。无论在准直镜和成像镜之间加什么类型的挡光板,都会导致仪器体积的扩大,成为困扰光谱仪器设计者的难题之一。针对上述情况,本文在设计微型平像场近红外光谱仪时,不再使用传统的挡杂散光装置,而是在准直物镜前设置一块直径仅为8.5 mm的反射镜巧妙地解决了光学系统中旁光所带来的杂散光问题。

入射光经光纤进入分光系统,在图2所示的仪器结构条件下,如果使光纤导入分光系统的光束直接照在准直镜上,则光纤发出的光束空间角会大于光纤出光口对准直镜的张角,经 ASAP 软件模拟所得光谱仪光路如图3所示。

由图3可以看出,从狭缝入射的光未完全照在准直镜上,而是一部分入射到准直镜的外侧,由于侧壁已涂黑,所以这部分光被侧壁吸收。另外一部分光入射到成像镜上,未经过准直镜和光栅,直接由成像镜反射,被 CCD 接收,这部分光就是系统旁光,成为光学系统的杂散光。光束分布及各部分光所占比例的模拟结果如表2所示。

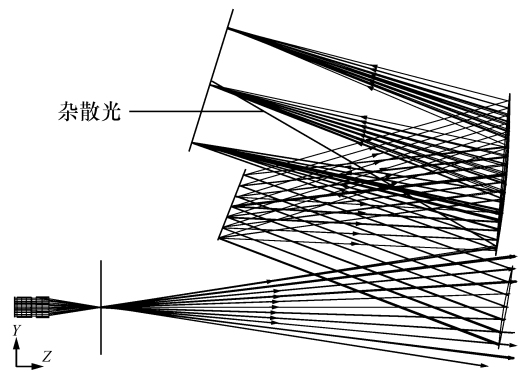


图3 未加反射镜时的模拟光路

Fig.3 Simulated light path without reflecting mirror

表2 进入 CCD 的光束成份

Table 2 Rays' components on CCD

路径	光束成份	成分比
1	12 018 7.01	98.87
2	124 8.04 $\times 10^{-2}$	1.13
合计	12142 7.09	

表2中,路径1代表经过光栅衍射的色散光,占系统总光束的98.87%;路径2代表未经过光栅衍射,直接由接收器接收的系统旁光,占系统总光束的1.13%。若要求仪器的信噪比为 $<0.1\%$,则上述杂散光所占比例超出了允许范围,必须加以消除。

消除方法是在准直物镜前加一块可绕垂直轴旋转的平面反射镜,以改变由光纤导入分光系统的光束直接照射准直镜的方式。通过调节平面反射镜,改变入射光束的空间角,使光束全部被准直镜所接收,不再产生旁光,进而有效地消除系统杂散光,光路模拟如图4所示。

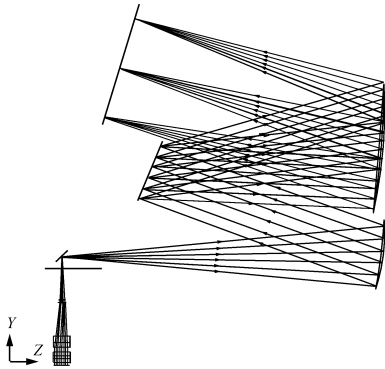


图4 增加反射镜后的模拟光路

Fig. 4 Simulated light path with reflecting mirror

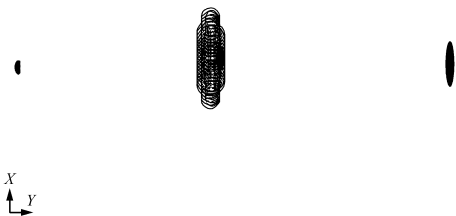


图5 存在杂散光的系统点列图

Fig. 5 Spot diagram of system with stray light



图6 消除了杂散光的系统点列图

Fig. 6 Spot diagram of system without stray light

增加反射镜前后,700、850和1100 nm 3个波长在接收面上的点列图如图5和图6所示。比较图5、图6可看出,采用图3方式时,中心波长850 nm处的杂散光较大;增加反射镜后,系统杂散光为零,系统像质得到优化。

3.2 波长标定及测试结果

采用线阵 CCD 接收谱面,通过 USB AD 数据采集卡进行光电转换,在电脑上显示谱图。使用平面反射镜前后,得到的系统汞灯标定图如图7、图8所示。

在图7、图8中,横坐标表示 CCD 像素点,纵坐标表示各像素点对应波长的光强值。系统杂散光入射到成像镜的边缘,经过成像镜反射到像面的中间位置(如图3、图5所示),造成的影响出现在谱线的中间区域。从图8中可看出,增加平面反射镜后,有效地消除了杂散光。

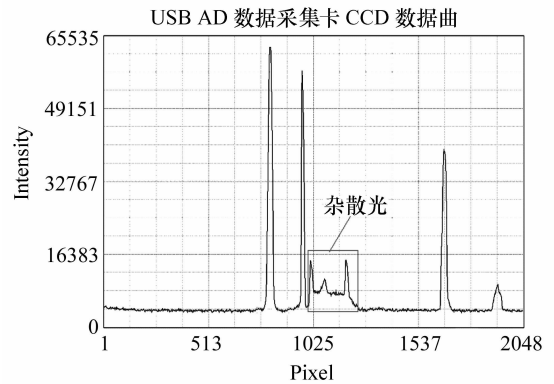


图7 未加反射镜的系统谱线标定图

Fig. 7 System spectrum without reflecting mirror

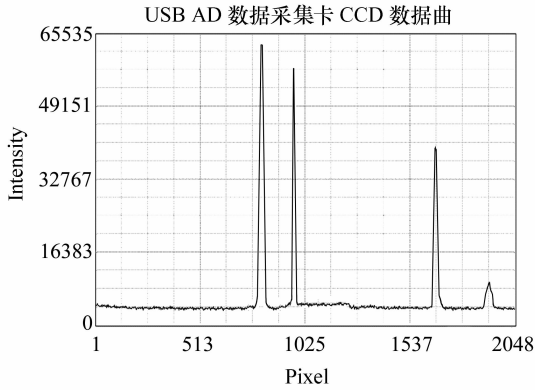


图8 增加了反射镜的系统谱线图

Fig. 8 System spectrum with reflecting mirror

4 结 论

本文设计并研制了微型平像场近红外光谱仪,并与传统的近红外光谱仪进行了比较。微型平像场光谱仪结构简单紧凑,光学器件少,体积缩小了数倍,而且整个仪器中没有运动部件,便于携带和野外使用。同时,设计的光谱仪没有用传统的附加挡光阑和挡光板来消除系统杂散光,而是通过准直镜前的平面反射镜巧妙地消除了由旁光带来的杂散光。

参考文献:

- [1] JEROME J, WORKMAN J L. Reviews of process and non-invasive near-infrared and infrared spectroscopy(1993-1999) [J]. *Appl. Spectroscopy Rev.*, 1999, 34(1&2):1-89.
- [2] KUMAR S, SINGH A K, KUMAR M, *et al.*. Standardization of near infrared reflectance spectroscopy(NIRS) for determination of seed oil and protein contents in rapeseed-mustard[J]. *J. Food Sci. Technol.*, 2003, 40(3):306-309.
- [3] ROLFE P, MONDO G, BOTTINI F, *et al.*. Near infrared spectroscopy: a low cost device[R]. *Kyoto: Annual Reports of the Research Reactor Institute, Kyoto University*, 2001:3147-3149.
- [4] BURNS D A, CIURCZAK E W. *Handbook of Near-infrared Analysis*[M]. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- [5] 吉海彦. 近红外光谱仪器及其在农业中的应用[J]. *仪器仪表学报*, 2001, 22(4):356-357.
JI H Y. Near-infrared spectroscopy instrument and it's applications in agriculture[J]. *J. Instrumentation*, 2001, 22(4):356-357. (in Chinese)
- [6] HUNT G R, SALISBURY J W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks, I: silicate minerals[J]. *Modern Geology*, 1970, 1:283-301.
- [7] BOWERS S A, HANKS R J. Reflection of radiant energy from soils[J]. *Soil Sci.*, 1965, 100(2):130-138.
- [8] BEN-DOR E, BANIN A. Visible and near infrared analysis of arid and semiarid soil[J]. *Remote Sens. Environ*, 1994, 48:261-274.
- [9] 胡松, 温志渝, 陈伟民, 等. 一种新型微小光谱仪的设计[J]. *压电与声光*, 2000, 22(6):363-366.
HU S, WEN ZH Y, CHEN W M, *et al.*. Design of a novel mini-spectrometer[J]. *Piezoelectrics Acoustooptics*, 2000, 22(6):363-366. (in Chinese)
- [10] 李全臣, 蒋月娟. *光谱仪器原理*[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1999.
LI Q CH, JIANG Y J. *The Principle of Spectrometer*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1999. (in Chinese)
- [11] 巴音贺希格, 李燕, 吴娜, 等. 紫外平面刻划光栅杂散光数值分析及测试[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(8):1783-1789.
Bayanheshig, LI Y, WU N, *et al.*. Numerical analysis and measurement method of stray light for UV ruled gratings[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(8):1783-1789. (in Chinese)

作者简介:陈万英(1984—),女,江西吉安人,硕士研究生,主要从事光谱仪设计及非成像理论的研究。

E-mail:chenwanying2010@yahoo.com.cn