

文章编号:1002-2082(2010)02-0256-04

高吸收型滤光片透过率均匀性测试系统

王 越, 刘卫国, 高爱华, 孙 鑫

(西安工业大学 光电微系统研究所, 陕西 西安 710032)

摘 要: 组建了高吸收型滤光片的透过率均匀性测试系统, 硬件系统由光学系统、光电转换系统和信号采集控制系统3部分组成。设计了基于LabVIEW 8.0的软件系统, 测试软件采用模块化方法编制。计算机控制二维电控转台移动待测滤光片, 以标准衰减片的透过率为基准, 系统全自动实时扫描测量样片多点透过率均匀性分布, 并对样片中心点透过率作了详细误差分析。透过率动态测试范围0.001%~1%, 测量相对误差小于0.1%。

关键词: 高吸收型滤光片; 透过率均匀性; 虚拟仪器

中图分类号: TN247

文献标志码: A

System for testing transmissivity uniformity of high-absorption filter

WANG Yue, LIU Wei-guo, GAO Ai-hua, SUN Xin

(Micro-Optoelectronic System Labs, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: A system used for testing transmissivity uniformity of high-absorption filters was developed. Its hardware consists of three major parts, including optical system, photoelectric conversion system and signal acquisition system. Its modularized software was designed based on LabVIEW 8.0. The real-time transmissivity measurement of multi-point distribution based on transmissivity of standard attenuators was computed through moving testing filters controlled by two-dimensional turntable, and the transmissivity error of central point was analyzed. The dynamic range of the system is from 0.001% to 1%, and the relative error is less than 0.1%.

Key words: high-absorption filters; transmissivity uniformity; virtual instruments

引言

吸收型滤光片^[1]主要应用于夜视仪、光谱分析仪、波分复用器等^[2-4], 目前测量滤光片透过率的仪器主要有分光光度计、傅里叶红外光谱仪、DF透反仪^[5]等等。现有的测量仪器主要适合测量透过率大于1%的滤光片^[1,6], 而对于透过率超低的高吸收型滤光片而言, 其测量精度低且测量误差较大。

本测试系统利用声光调制和相关检测技术, 以虚拟仪器labview8.0^[7]为开发环境, 通过步进电机

控制二维电控转台移动待测滤光片, 以经过标定的标准衰减片的透过率为基准, 系统全自动实时扫描测量样片多点透过率均匀性分布, 系统可测试滤光片的透过率范围为0.001%~1%, 测量相对误差小于0.1%。

1 测试系统硬件组成和透过率测量算法

测试系统硬件框图如图1所示, 光源采用波长

收稿日期:2009-08-18; 修回日期:2009-10-19

基金项目:西安市科技计划项目(XY08002)

作者简介:王越(1985-),男,江苏徐州人,西安工业大学在读硕士研究生,主要从事光电测试技术研究工作。

E-mail:115533652@qq.com

为 632.8 nm, 输出功率为 1 mW 的稳频、稳功率的 He-Ne 激光器。激光经过声光调制器、衰减片、波片、可调光阑、积分球后进入信号采集与控制系统。声光调制技术采用布拉格衍射模式, 衍射效率大于 85%, 声光调制比电光调制有更高的消光比, 比机械调制有更好的波形。用光阑屏蔽掉 0 级光, 经调制后的光为按驱动信号频率变化的调制光。出于对光电倍增管 (PMT) 的保护, 衰减片只在测量基准光时使用。波片(半波片和 1/4 波片)用来测量不同偏振状态的光对滤光片的透过率。测试光斑直径约为 1 mm, 积分球使收集的透射光均匀入射到 PMT 感光面上。

信号采集与控制系统由 PMT、锁相放大器 (LIA)、数据采集卡、步进电机以及计算机组成。选用的采集卡最高采样速率可达 250 kHz, 同时还具有波形发生、D/A、数字 I/O 等多种功能。其中波形发生器输出两路 1 kHz 方波信号, 其中一路作为声光调制器的调制信号, 另外一路作为锁相放大器的参考输入信号。D/A 端口精密控制 PMT 的放大倍数, 分辨率可达 1/216。数字 I/O 端口控制 LIA 的参数设置, 包括灵敏度、积分时间、相位等。

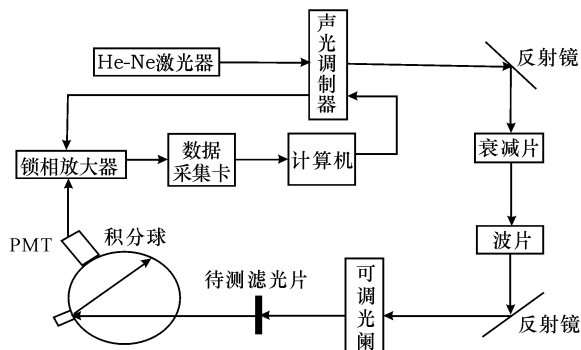


图 1 高吸收型滤光片透过率均匀性测试系统框图

Fig. 1 Diagram of transmissivity uniformity measurement system of high-absorption filters

测试系统所选用的 PMT 的典型参数如表 1 所示, 其中 PMT 随控制电压变化的增益曲线如图 2 所示。

表 1 PMT 典型参数

Table 1 Typical parameters of PMT

| 工作波长/nm | 控制电压/V | 阴极灵敏度/(mA·W ⁻¹) | 阳极灵敏度/(A·W ⁻¹) | 最大暗电流/nA | 最大工作电流/μA |
|---------|----------|-----------------------------|----------------------------|----------|-----------|
| 633 | 0.25~0.9 | 78 | 3.9×10 ⁴ | 20 | 10 |

激光器输出功率为 1 mW, 光信号经过声光调制器及各种光学器件光强衰减约 50%, PMT 阴极接收面积约占积分球总面积的 1/500, 阴极灵敏度为 78 mA/W, 设此时 PMT 增益为 G , 滤光片透过率

为 T_2 , PMT 输出电流为 I , I_1 为基准入射光强, I_2 为透过光强, 基准衰减片的透过率为 T_1 , 则

$$I_1 = 78 \times G \times T_1 \quad (1)$$

$$I_2 = 78 \times G \times T_2 \quad (2)$$

$$T_2 = I_2 \times T_1 / I_1 \quad (3)$$

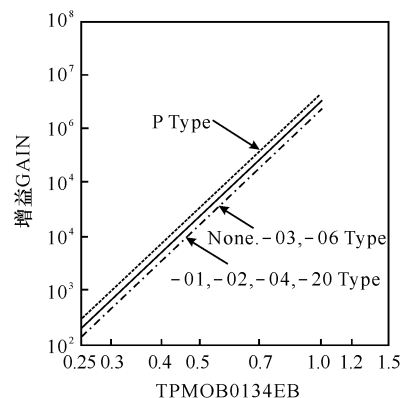


图 2 PMT 随控制电压变化增益曲线图

Fig. 2 Gain curve of PMT with the control voltage

由于测试动态范围大, 将透过率在 0.001%~1% 测量范围的待测滤光片分为 3 段测量区间。测量区间及相关参数计算如表 2 所示。系统选定透过率为 1%, 0.1%, 0.001% 的 3 个衰减片作为不同区间滤光片的 3 个基准。步进电机通过一个旋转控制台实现衰减片的选择。针对每段测量区间, PMT 的增益要分别设置, 在每段测量区间内既要保证 PMT 的最大输出电流不超过 PMT 的最大工作电流 10 μA, 又要保证最小输出电流远大于 PMT 的最大暗电流 20 nA。

表 2 滤光片测量范围及 PMT 相关参数计算

Table 2 Measuring range of filters and the related parameters of PMT

| 测量区间 | 测试范围/% | 衰减片透过率/% | PMT 控制电压/V | PMT 增益 | 最大输出电流/μA | 最小输出电流/nA |
|------|------------|----------|------------|-------------------|-----------|-----------|
| I | 0.1~1 | 1 | 0.4 | 4×10 ³ | 3.12 | 312 |
| II | 0.01~0.1 | 0.1 | 0.5 | 2×10 ⁴ | 1.56 | 156 |
| III | 0.001~0.01 | 0.01 | 0.6 | 6×10 ⁴ | 0.468 | 46.8 |

经由理论计算和实验验证, 在 3 个测量区间中 PMT 输出电流均小于它的最大工作电流并远大于它的暗电流噪声。

2 虚拟仪器软件设计

虚拟仪器是提取信号和数据处理的核心, 测试系统模块化编制控制软件, 每一模块完成一种功能。测试软件由初始化模块、基准光测试模块、步进

电机参数设置模块、锁相放大器参数设置模块、透过光测试模块及数据运算与处理模块组成。软件流程图如图3所示。

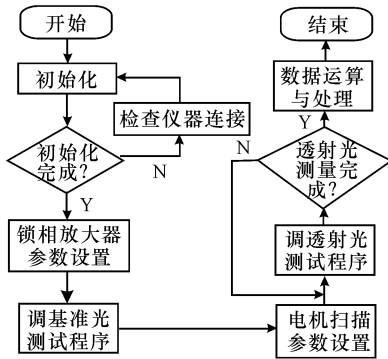
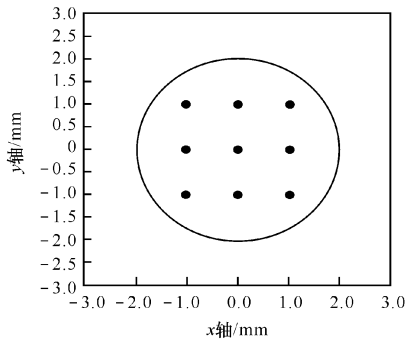


图3 软件流程图

Fig. 3 Flow chart of the software

3 测试结果与误差分析

测试系统通过调用子模块,完成对测试对象的测试及结果的分析,实时记录 x, y 坐标值、透过信号测量值和透过率。图4是对待测滤光片中心 $\Phi 4$ mm 区域扫描测量结果,扫描步长设定为 1 mm,基准衰减片选用透过率为 0.01% 的衰减片。



| X 坐标 /mm | Y 坐标 /mm | 基准测量值/V | 透射测量值/V | 透射率/% |
|----------|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 1 | 2.394 | 1.543 | 0.006 445 |
| 0 | 1 | 2.394 | 1.496 | 0.006 249 |
| -1 | 1 | 2.394 | 1.515 | 0.006 328 |
| -1 | 0 | 2.394 | 1.484 | 0.006 199 |
| 0 | 0 | 2.394 | 1.476 | 0.006 165 |
| 1 | 0 | 2.394 | 1.487 | 0.006 211 |
| 1 | -1 | 2.394 | 1.511 | 0.006 311 |
| 0 | -1 | 2.394 | 1.538 | 0.006 424 |
| -1 | -1 | 2.394 | 1.483 | 0.006 195 |

图4 样片透过率均匀性分布图

Fig. 4 Distribution uniformity transmissivity of a sample filter

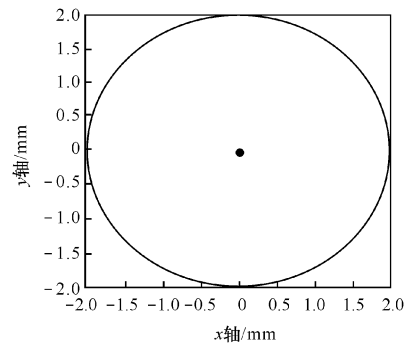
由图4可以看出测试点(1,1)透过率最大为 0.006 445%, 测试中心点透过率最小为

0.006 165%。通过调用数据运算与处理模块可得该9个测试点透过率平均值为 $\mu=0.006 281\%$, 均值绝对偏差 $s=0.86\%$ 。

测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差^[8]。粗大误差可以很明显地被剔除,而在多次测量过程中,同一被测物理量随机误差按照一定的统计规律分布,减小随机误差的有效办法就是进行多次测量。系统误差主要来源于激光器的漂移、PMT 的阳极暗电流、LIA 的输入电流噪声以及各种杂散光的干扰。

为尽可能减小随机误差和剔除粗大误差,对该滤光片的中心点做 10 组单点重复测量。如图5所示,透过测量值和基准测量值都能稳定到百分位。表3是对测试中心点的误差分析,其中滤光片透过率 T_2 的相对标准误差为

$$E_r = \sqrt{\frac{\sigma_{I_1}^2}{\mu_{I_1}^2} + \frac{\sigma_{I_2}^2}{\mu_{I_2}^2}} \quad (4)$$



| 测量次数 | 基准测量值/V | 透射测量值/V | 透射率/% |
|------|---------|---------|-----------|
| 1 | 2.393 | 1.475 | 0.006 164 |
| 2 | 2.394 | 1.476 | 0.006 165 |
| 3 | 2.394 | 1.476 | 0.006 165 |
| 4 | 2.395 | 1.477 | 0.006 167 |
| 5 | 2.396 | 1.478 | 0.006 169 |
| 6 | 2.396 | 1.478 | 0.006 169 |
| 7 | 2.395 | 1.477 | 0.006 167 |
| 8 | 2.393 | 1.475 | 0.006 164 |
| 9 | 2.394 | 1.476 | 0.006 165 |
| 10 | 2.395 | 1.477 | 0.006 167 |

图5 样片中心点透过率重复性测量结果

Fig. 5 Repetitive measurements of transmissivity of central point of the sample filter

表3 样片中心点的透过率误差分析表

Table 3 Error analysis of transmissivity of central point of the sample filter

| 被测物理量 | 平均值 μ | 方差 σ^2 | 均值绝对偏差 s | 相对标准误差 $E_r/\%$ |
|-------|------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| I_1 | 2.395 | 1×10^{-6} | 1×10^{-7} | 0.04 |
| I_2 | 1.476 | 1×10^{-6} | 1×10^{-7} | 0.07 |
| T_2 | 0.006 166% | 4×10^{-8} | 2×10^{-6} | 0.08 |

4 结论

本文中提出了一种基于相关检测技术探测极其微弱光信号的方法,搭建的高吸收型滤光片透过率多点均匀性测试系统实现了对微弱光信号的探测,通过LABVIEW图形化软件开发的测试程序实现了对多台仪器的控制。本系统在测试过程控制及测量结果的记录分析方面实现了智能化和自动化,信噪比高,透过率动态测试范围为0.001%~1%,测量相对误差小于0.1%。组建的测试系统还可推广应用于高反射镜等光学器件的透过率测量。

参考文献:

- [1] 穆廷魁,李国华,郝殿中.宽调谐双折射滤光片最佳透过系统研究[J].激光技术,2006,30(5):520-522.
MU Ting-kui, LI Guo-hua, HAO Dian-zhong. Analysis of broad tunable and narrow-band filter system of birefringent-filters[J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 520-522 (in Chinese with an English abstract)
- [2] ANGELA P. Variable narrow band transmission filters with a wide rejection band for spectrometry[J]. Appl. Opt, 2006, 45(16): 3768-3773.
- [3] HOHREITER V, HAHN D W. Dual-pulse laser induced breakdown spectroscopy time-resolved transmission and spectral measurements [J]. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2005, 23(4): 245-249.
- [4] 许棠,张春平,王新宇,等.用CCD测量生物组织的漫反射率和透过率[J].光谱学与光谱分析,2004,33(2):137-140.
XU Tang, ZHANG Chun-ping, WANG Xin-yu, et al. Measurements of diffusion reflectance and transmissivity of biological tissues by using CCD[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2004, 33(2): 137-140. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 陈栋,黄云,张斌,等.透反射率自动化测量系统设计[J].光学技术,2007,33:210-213.
CHEN Dong, HUANG Yun, ZHANG Bin, et al. Design of transmissivity and reflectivity automatic measuring system[J]. Optical Technique, 2007, 33: 210-213. (in Chinese with an English abstract)
- [6] 范滨,李刚正,程鑫彬,等.线性渐变滤光片的制备与测试[J].光学仪器,2006,28(4):96-103.
FAN Bin, LI Gang-zheng, CHENG Xin-bin, et al. Production and measurement of linear variable filter [J]. Optical Instruments, 2006, 28(4): 96-103. (in Chinese with an English abstract)
- [7] 陈锡辉,张银鸿.Labview 8.2 程序设计从入门到精通[M].北京:清华大学出版社.2006.
CHEN Xi-hui, ZHANG Yin-hong. Labview 8.2 programming from elementary to mastery [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006. (in Chinese)
- [8] 费业泰.误差理论与数据处理[M].北京:机械工业出版社,2004.
FEI Ye-tai. Error theory and data processing [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2004. (in Chinese)