

文章编号: 1672-8785(2017)06-0001-07

基于近红外双色探测器的信号采集系统设计

吴 威 韩顺利 侯喜报 刘 磊 项国庆

(中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东青岛 266555)

摘要: 针对近红外双色探测器在两种不同工作波段的光谱响应曲线及暗电流, 设计了一种基于近红外双色探测器的信号采集系统及采集方法。该系统具有多种电流转电压档位、电压放大档位和滤波电路带宽档位, 能够快速进行信号放大和带宽控制; 同时通过数字/模拟转换器(D/A)为四级放大电路提供模拟调零信号, 可有效消除由光学系统的杂散光和探测器自身的暗电流引起的噪声。该系统具有速率快、噪声低和分辨率高等特点。通过使用这种信号采集系统, 光学系统的信噪比、动态范围、最小可测功率等指标参数都能得到提高。

关键词: 近红外; 双色探测器; 信号采集; 光谱响应

中图分类号: TH7 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.06.001

Design of Signal Acquisition System Based on Near Infrared Two-color Detectors

WU Wei, HAN Shun-li, HOU Xi-bao, LIU Lei, XIANG Guo-qing

(The 41st Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao 266555, China)

Abstract: According to the spectral response curves and dark current of a near infrared two-color detector in two different operation wavebands, a signal acquisition system based on the near infrared two-color detector is designed. The system has many current-voltage conversion levels, voltage amplification levels and filter circuit bandwidth levels. It can amplify signals and control bandwidth quickly. Moreover, it provides zero analog signals for four amplify circuits via a Digital-to-Analog (D/A) convertor. This can effectively eliminate the noises caused by the stray light and the dark current of the detector itself. The system has the features of high speed, low noise and high resolution. By using this signal acquisition system, many parameters of the optical system, such as signal-to-noise ratio, dynamic range and minimum measurable power, can be improved.

Key words: near infrared; two-color detector; signal acquisition; spectral response

0 引言

近红外探测器作为光学系统的核心元件, 主

要用于近红外信息检测、光纤通信、激光告警、传感、测距、光谱分析等领域^[1]。光谱信号检测对探测器的性能提出了较高的要求, 探测器需具备

收稿日期: 2017-03-23

基金项目: 国家重点实验室基金项目(9140C120301150C12057)

作者简介: 吴威(1988-), 男, 安徽六安人, 硕士, 助理工程师, 主要从事红外及光电测量技术研究。

E-mail: wu3944387@163.com

探测灵敏度高、响应速度快、探测器线性响应范围宽等特点^[2]。为了在600 nm~1700 nm宽波段范围内获得较高的光谱响应率，选择硅-铟镓砷(Silicon-Indium Gallium Arsenic, Si-InGaAs)双色光电探测器作为探测器件，以解决传统硅(Silicon, Si)探测器和铟镓砷(Indium Gallium Arsenic, InGaAs)探测器仅响应各自窄波段光信号的问题。

Si-InGaAs双色探测器具有Si-PIN和InGaAs-PIN两个元件，它们分别工作在不同波段，且在每个波段上的光谱响应曲线不一样^[3,4]。

传统的信号采集系统由信号调理滤波电路、数模转换电路、数据处理电路等部分组成。光信号经过光学系统后被去除杂光干扰，形成待测光信号；探测器检测光信号后，经过光电转换和放大电路将光信号转换到可处理范围，最终由数模转换器采集数据^[5]。传统的信号采集系统采用单一的放大控制电路来对两个波段的信号进行放大，无法在双色探测器的两个工作波段间快速切换，无法解决双色探测器在两个波段的光谱响应率不同的问题；而且，不能提供不同波段、不同档位的多级调零电压，无法有效消除探测器暗电流噪声的影响。

本文设计的信号采集系统能够快速控制两种波段下的信号选择、放大倍数组合及滤波带宽等。光学系统的杂散光和探测器自身暗电流造成的背景噪声经多次放大后，会对获取的信号造成严重影响，尤其是在微弱光信号检测时，背景噪声会将信号淹没。该系统能够在增大微弱信号幅度的同时有效地抑制噪声，从而提高光学系统的性能参数。

1 Si-InGaAs 双色探测器

Si-InGaAs双色探测器具有很宽的光谱响应范围、较高的探测灵敏度和较快的响应时间等特点^[6~8]。该探测器可通过同一个入光面检测近红外区域的入射光信号。设计时采用上下结构，沿一个光轴将一个红外透射硅光电二极管安装在铟镓砷光电二极管上^[9]。上层Si-PIN采用背照式结构，响应短波长；下层InGaAs-PIN采

用正面入光结构，响应透过上层Si的长波长。如图1所示，其中Si的响应波段为200 nm~1100 nm，InGaAs的响应波段为900 nm~1700 nm。将两个PIN叠加使用，可以满足覆盖600 nm~1700 nm波段的要求，且能够保证整个测量光谱范围内都有比较高的光谱响应率。

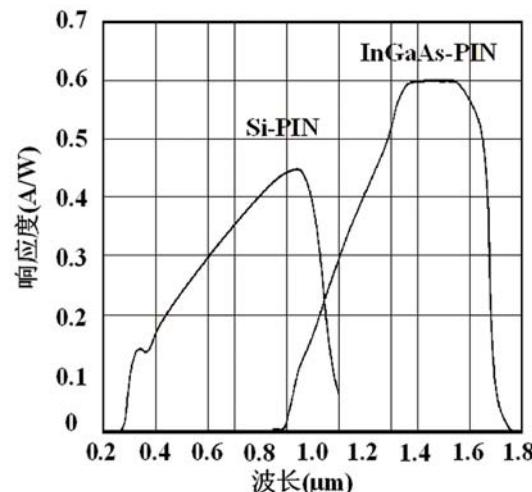


图1 探测器的光谱响应曲线

近红外双色探测器检测光学系统接收到的红外光信号，并将光信号转换成电信号，再由信号处理系统对电信号进行处理^[10,11]，如图2所示。信号采集和处理电路会直接影响仪器的信噪比、动态范围、最小可测功率等指标参数。因此需要结合双色探测器的光电特性参数和光谱响应曲线来设计信号采集系统。

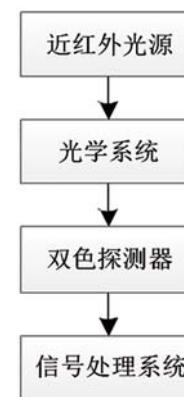


图2 近红外双色探测器的应用

2 信号采集系统的设计

2.1 系统设计

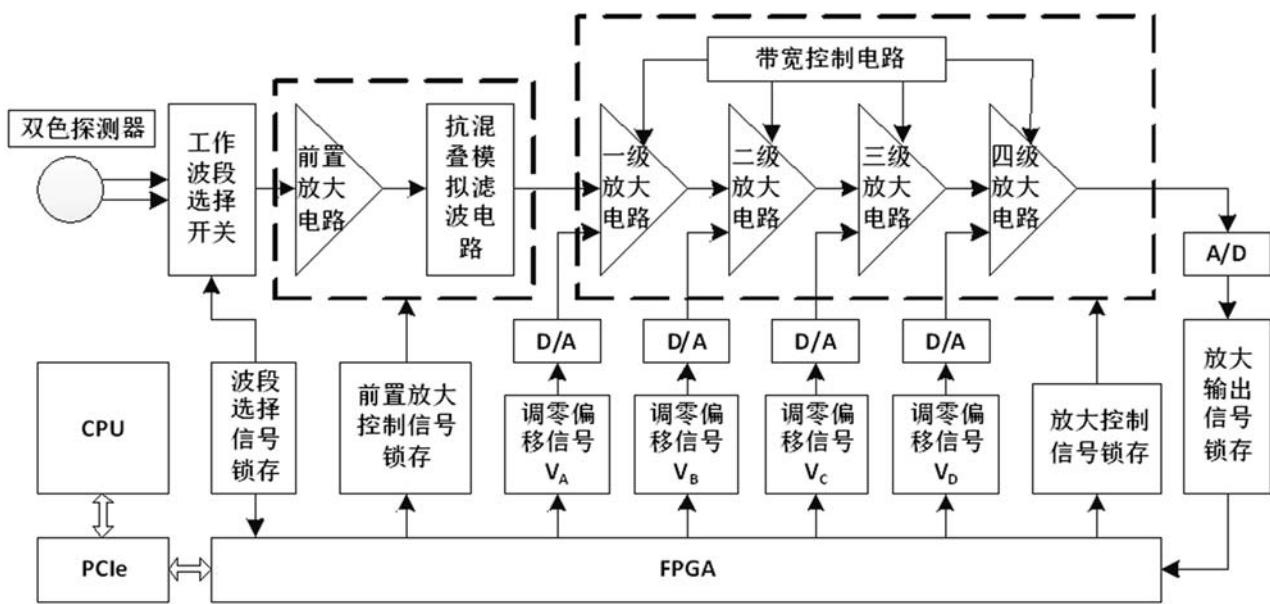


图3 双色探测器的信号采集系统框图

采用现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, FPGA) 控制采集电路的工作状态，并通过总线和接口标准 (Peripheral Component Interface Express, PCIe) 与 CPU 进行数据交换。Si-InGaAs 双色探测器输出的电流信号经过前置放大电路被转换为电压信号，然后经过抗混叠模拟滤波电路被滤除高频噪声，再经多级放大电路放大，最后经过 A/D 板模数转换被上传到上位机中。图 3 是该控制系统的框图，其中波段选择信号锁存用于选择双色探测器的工作波段，前置放大控制信号锁存用于控制工作波段选择开关、前置放大电路的放大倍数选择开关和抗混叠模拟滤波电路的滤波带宽选择开关；四级调零偏移信号通过 D/A 为四级放大电路提供调零模拟信号，以此消除由光学系统的杂散光和探测器自身的暗电流引起的噪声；放大控制信号锁存用于控制四级放大电路的放大档位选择开关和滤波电路的带宽；放大输出信号锁存用于选择输出放大后的信号。

2.2 档位切换控制

前置放大电路用于电流转电压，档位由前置放大控制信号锁存送入前置放大电路中。放大电路用于电压放大，档位由放大控制信号锁存送入多级放大电路。视频带宽用于控制多级

放大电路的模拟信号带宽，共设有 6 个带宽 10 Hz、100 Hz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 和 1 MHz。系统首先选择默认的档位组合，将其送往控制电路，然后监测放大后的输出信号，并根据输出信号的大小调整档位，不断更新控制信号，直到检测到的输出电压大小合适为止。切换双色探测器的工作波段选择开关时，系统将立即回到默认的档位组合，重新计算和寻找适应新的工作波段的控制信号。

2.3 调零偏移信号

在狭缝关闭的情况下，光学系统的杂散光和探测器的暗电流在经过放大以后会产生明显的噪声，因此需要进行预先调零。关闭狭缝即输入光功率为零时，系统分别检测四级放大电路在两种工作波段内以及不同档位时的输出噪声电压值，计算出调零偏移信号。调零偏移信号与光学系统、双色探测器、放大处理电路等相关，每台仪器都有特定的一组该信号，其大小由在两种工作波段内以及不同档位时的输出噪声电压值决定。将调零偏移信号转换为二进制，其中最高位为符号位。将它们按照 12 位数字信号写入到四通道 12 位 DAC 中，再由该 DAC 将其转换成模拟信号 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d ，为四级放大电



图 4 调零偏移信号补偿

路的运算放大器提供四级直流信号偏移电压，如图 4 所示。

3 测试结果与分析

将本文设计的信号采集系统用于光栅扫描式近红外光谱仪中，其性能决定了所获数据的可靠性。通过噪声测试、波长范围测试和视频带宽测试来分析系统的性能。

3.1 噪声测试

用数字示波器测量档位适中时的输出信号。该信号主要由探测器的暗电流噪声、光学系统的杂散光以及放大器的噪声组成。测试结果如图 5 所示，噪声的均方根值为 23.6 mV。因此在选择更大的档位时，这个噪声对光学系统的信号影响很大，需要采取调零的方法在各级放大

电路输入端加入偏置，以降低噪声的影响。

3.2 波长范围测试

使用氘-卤灯光源提供宽谱段稳定连续的输出，为近红外光谱仪提供 600 nm~1700 nm 的宽波段光信号。图 6 是视频带宽设置为 1 kHz 时光谱仪软件界面上的测试结果。测试了近红外光源在 600 nm~1700 nm 范围内的光谱分布，测试曲线大致与光源测试报告一致。因此，本文设计的信号采集系统能够准确地将近红外光谱信号放大，并有效地抑制探测器的暗电流和光学系统的杂散光等背景噪声。

3.3 视频带宽测试

使用可调谐激光源模块输出波长为 1550 nm 的激光，输出功率为 9 dBm。在光谱仪的软件上设置中心波长为 1550 nm，扫描宽度为 20 nm。图 7 是视频带宽分别为 1 MHz、100 kHz、10 kHz、1 kHz、100 Hz 和 10 Hz 的测试结果。不同的视频带宽具有不同的噪声滤除效果，通过设置合适的视频带宽能够得到很好的光源光谱曲线，从而能准确分析峰值波长和光谱带宽。

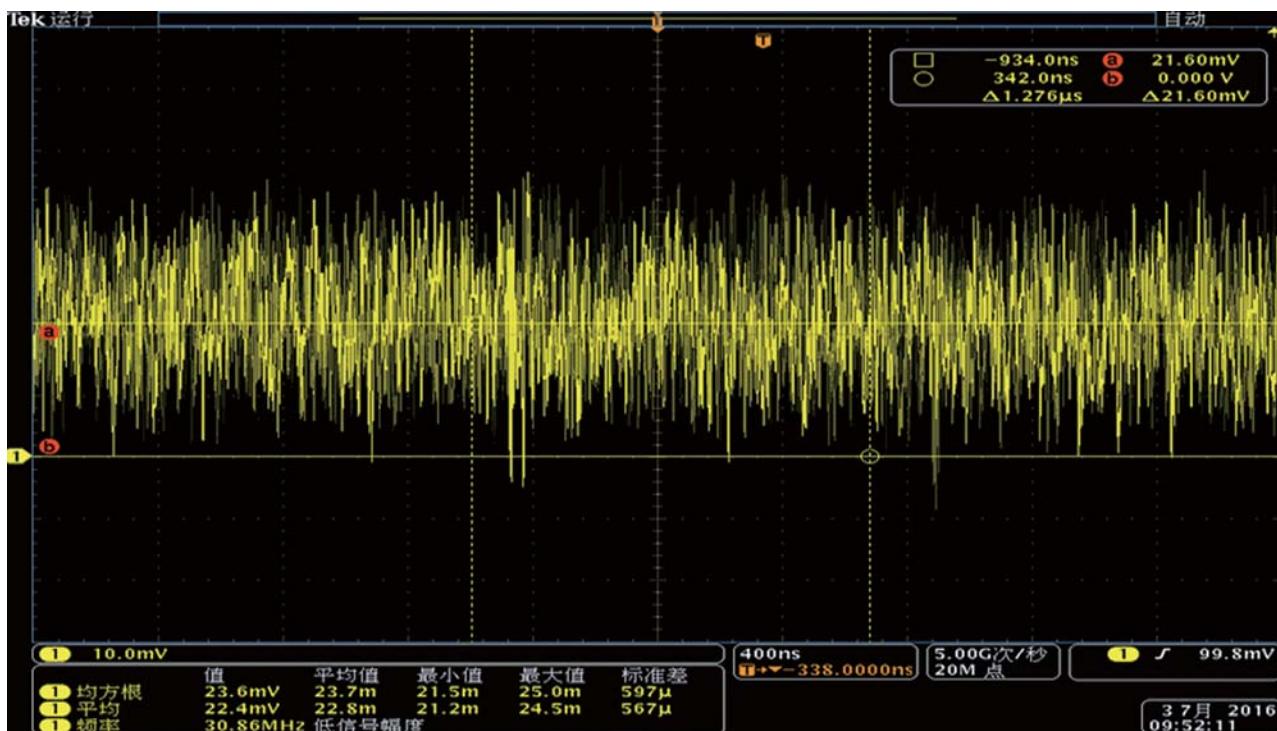


图 5 噪声测试结果

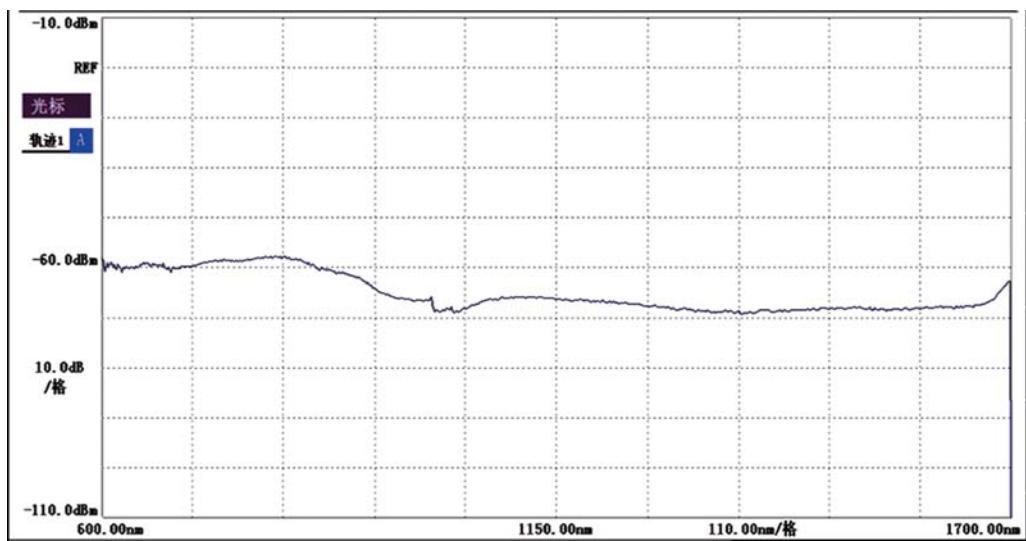
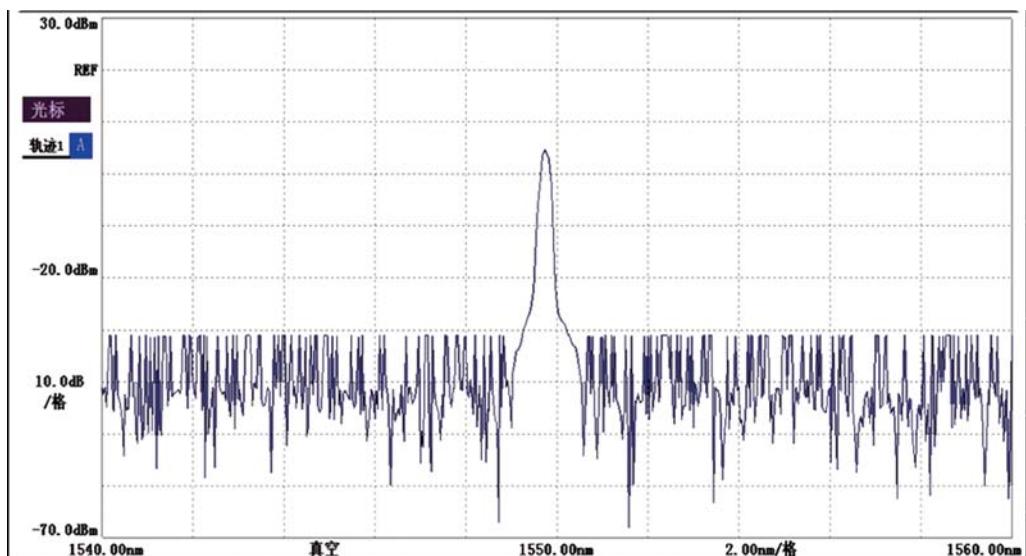
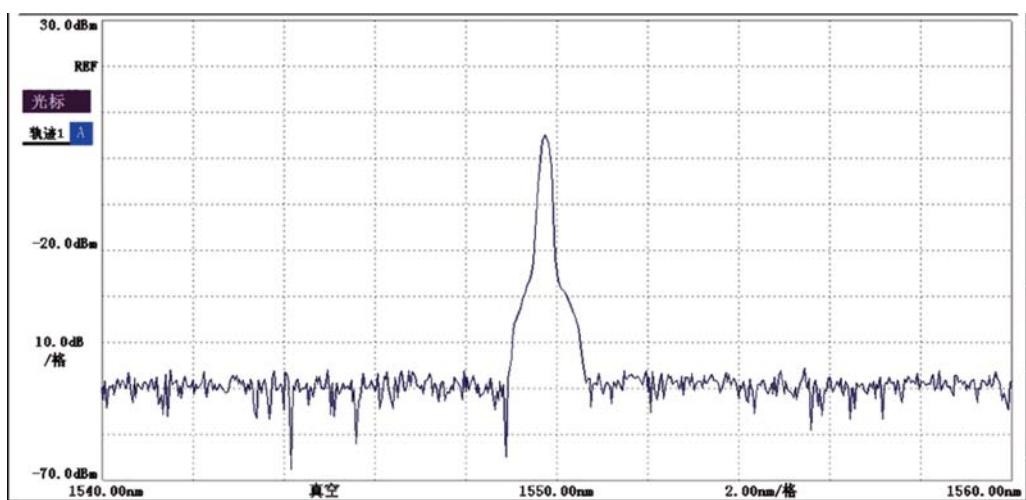


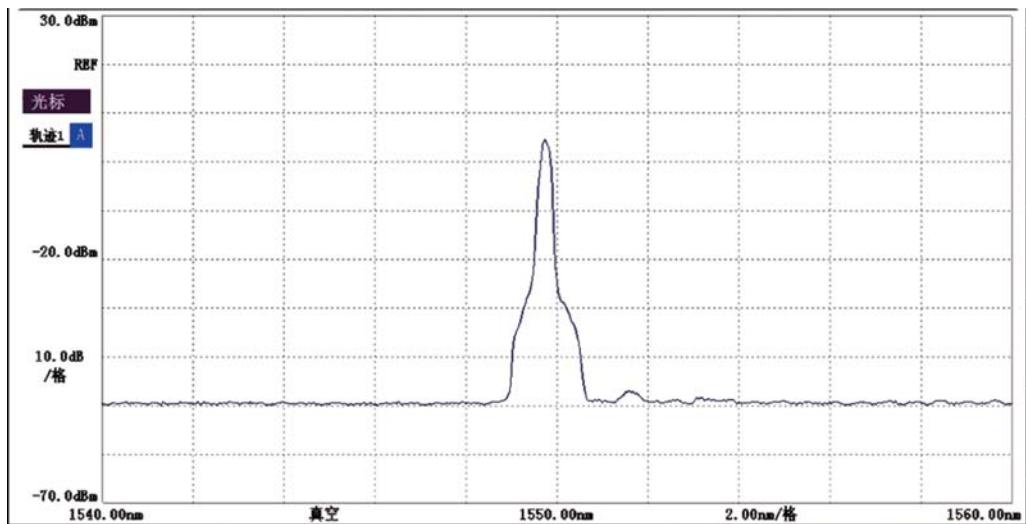
图 6 波长范围的测试结果



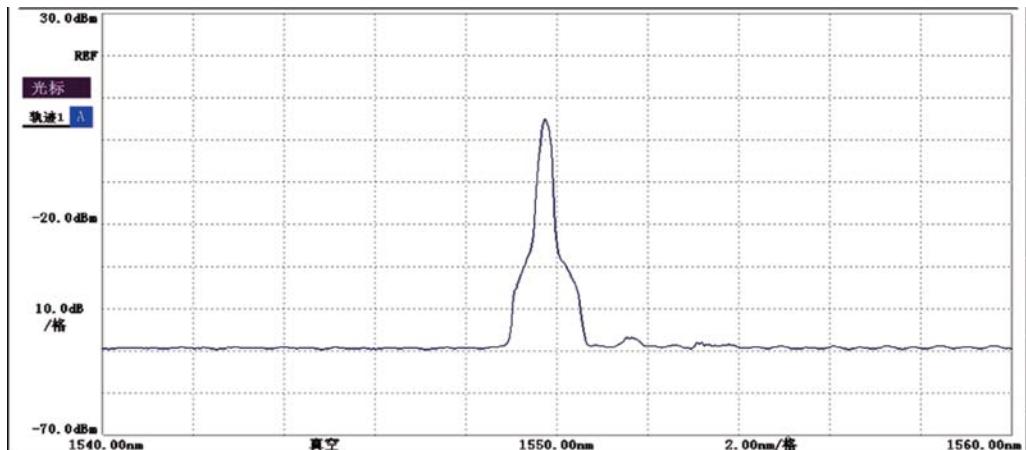
(a) 1 MHz



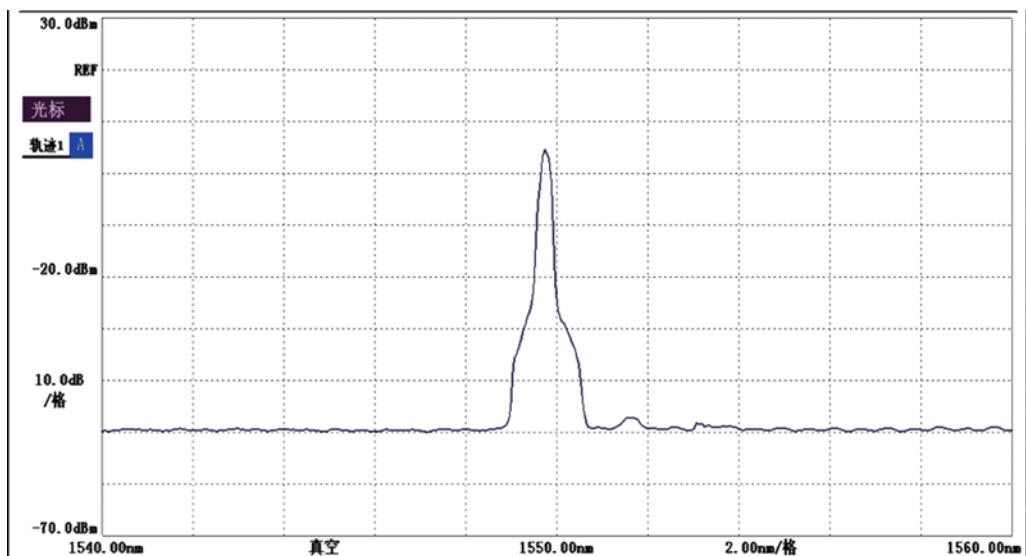
(b) 100 kHz



(c) 10 kHz



(d) 1 kHz



(e) 100 Hz

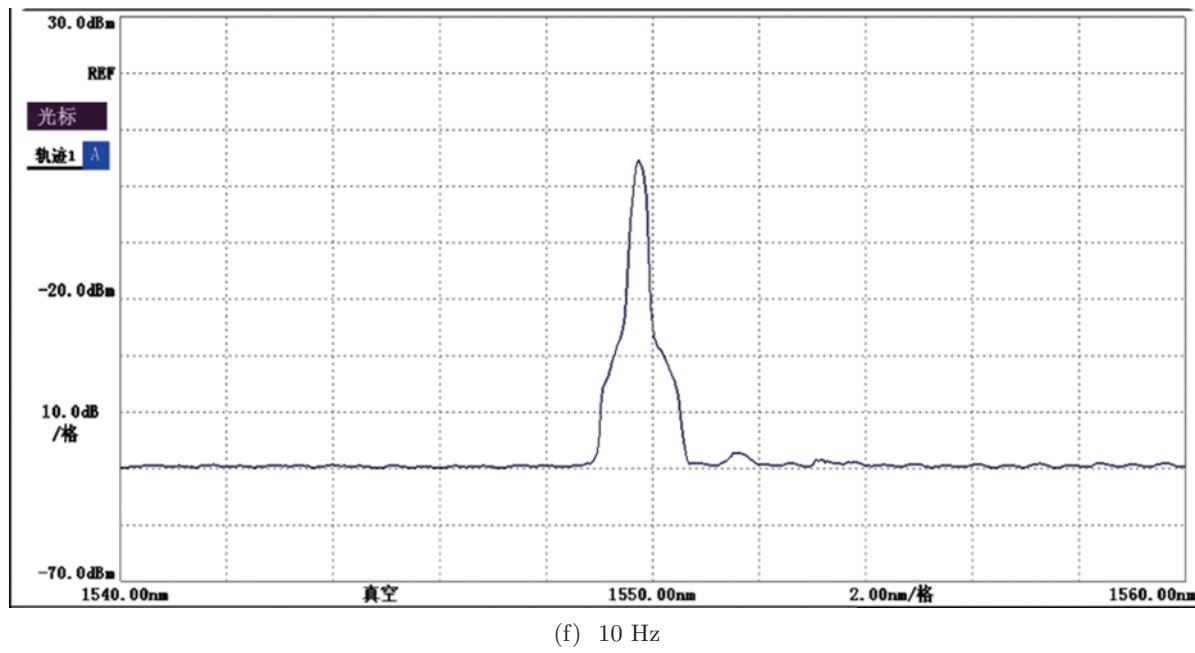


图7 视频带宽测试结果

4 结论

信号采集系统是近红外光谱仪器重要的一部分, 它主要用于对光栅分光后的光谱信号进行采集和处理, 其性能的好坏可直接决定获得的光谱曲线的质量, 从而影响进一步的曲线分析和测试应用。根据双色探测器两个光电探测元件的光电特性参数和光谱响应曲线, 设计了信号放大控制系统及方法, 包括两种工作波段的选择信号、放大倍数组合、视频带宽的控制方法以及四级调零偏移信号补偿电路的反馈计算。与传统的信号采集系统相比, 该系统在增大微弱信号的幅度时能够有效地抑制噪声, 提高了仪器的信噪比和灵敏度, 可实现微弱光信号输入时的光谱分析。

参考文献

- [1] 刘铁权, 但伟. 双波段光电探测器 [J]. 半导体光电, 2000, 3(21): 70–72.
- [2] 张洋. 被动红外光谱仪中微弱信号检测技术的研究 [D]. 太原: 中北大学, 2012.
- [3] Sordillo D C, Budansky Y, Sordillo P P, et al. A Novel Approach to Paget's Disease Diagnosis and Monitoring Using Near-infrared Absorption Spectroscopy [C]. SPIE, 2013, 8565: 856566.
- [4] Gruger H, Knobbe J, Pugner T, et al. Design and Characterization of a Hybrid Integrated MEMS Scanning Grating Spectrometer [C]. SPIE, 2013, 8616(4): 455–461.
- [5] 杨晓娅. 微弱光信号检测系统的设计与研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2014.
- [6] 杨波. 可见拓展的短波红外 InGaAs 探测器研究 [D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2014.
- [7] 孟庆端, 吕衍秋, 鲁正雄, 等. 双色制导用 InGaAs 探测器低温特性的研究 [J]. 低温物理学报, 2010, 32(4): 295–298.
- [8] Chunment D, Tomoya S, Kazuhiro N, et al. Characterization of Interface State Density of Three-dimensional Si Nanostructure by Charge Pumping Measurement [J]. Microelectronics Reliability, 2014, 54: 725–729.
- [9] 刘铁权, 但伟. 双波段光电探测器 [J]. 半导体光电, 2000, 21(3): 70–72.
- [10] 徐晗, 卢启鹏, 朴仁官. 基于锁相放大的近红外光谱信号提取电路研究 [J]. 电子设计, 2009, 25(8): 233–235.
- [11] 李钊, 方勇华, 雍静, 等. 红外微弱信号的放大与调理电路设计 [J]. 大气与环境光学学报, 2013, 8(5): 385–394.