

文章编号:1001-5078(2011)12-1378-05

· 电子电路 ·

极紫外光子计数成像仪图像快显系统设计与实现

薛盼盼^{1,2}, 王晓东¹, 曲洪丰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:为实现极紫外光子计数成像仪数字图像的实时获取,设计图像快显系统,完成数据的实时传输和图像的快速显示。设计了基于 USB2.0 的数据传输单元完成成像仪与 PC 工作机之间的数据交互,介绍了数据传输单元的工作原理与组成,采用 FPGA + USB 控制芯片的结构实现安全、高效的数据传输。对极紫外光子计数成像仪成像原理进行分析,在 PC 机中进行数据处理,完成图像的快速显示,实现极紫外光子计数成像仪的实时图像测试。经实验验证,本系统可以完成科学数据的实时接收与图像的快速显示功能,满足设备的调试与测试需求。

关键词:极紫外光子计数成像仪; USB; 数据传输; 图像快速显示

中图分类号:TN23 **文献标识码:**A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2011.12.019

Design and realization of high-speed image display system for extreme ultraviolet photon count imager

XUE Pan-pan^{1,2}, WANG Xiao-dong¹, QU Hong-feng¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: A high-speed image display system is designed. This system can achieve real-time data transfer and fast display of image. It is developed for extreme ultraviolet photon count imager to realize real-time display of digital image. Data transfer part of this system is based on USB2.0, it builds the communication between PC and extreme ultraviolet photon count imager with the structure of FPGA + USB control chip. The principle and composition of the data transfer part are introduced, it is the foundation to realize safety and efficient data transfer. The imaging principle of extreme ultraviolet photon count imager is also described. Analyzing the data in PC, it shows that the system can achieve real-time imaging of extreme ultraviolet photon count imager.

Key words: extreme ultraviolet photon counting imager; USB; data transfer; high-speed picture display

1 引言

极紫外光子计数成像仪通过对于 30.4 nm 的 He⁺ 共振散射分布进行成像,从而实现对于地球等离子体层的分布进行研究^[1]。在极紫外光子计数成像仪的研制过程中,需要实现与 PC 机的通信,以便在 Windows 系统中根据 EUV 的成像原理进行数据处理,显示采集到的图像,检测成像质量。因此,设计了极紫外光子计数成像仪图像快显系统实现极紫外成像仪与 PC 机之间的实时数据交互,完成极紫外成像测试。

本设计中的极紫外图像快显系统采用基于 USB2.0 总线的通信方式实现成像系统与 PC 机的数据通信,采用 RS-422 协议实现指令通讯。根据光子计数成像仪的成像原理在 PC 机中进行数据处理实现图像快速显示。

2 系统组成与工作原理

极紫外光子计数成像仪采用单光子成像技术通

作者简介:薛盼盼(1986-),女,在读硕士生,主要研究工作是数据传输技术。E-mail: tzrxh@126.com

收稿日期:2011-05-06; 修订日期:2011-06-16

过记录到达成像仪像平面的每个光子的位置并经过时间积累达到总体成像的目的。实现对弱光成像和紫外、极紫外波段等的成像^[1-2]。

成像系统主要由光电阴极、MCP、高压电源和一个二维 WSZ 阳极组成。MCP 的阴极涂层被特定波段的光线激发产生光电子,光电子进入并通过 MCP 得到连续倍增,经 MCP 倍增后的电子云被 WSZ 阳极收集于 W,S,Z 三个收集电子区。然后经过放大、整形、AD 转换等一系列信号处理后转换为数字信号。通过 W,S,Z 三个电极上的输出电荷信号的大小可以判断电子束团的质心位置。

极紫外图像快显系统主要由指令控制单元、数传单元和快速显示单元组成。快显系统结构如图 1 所示。

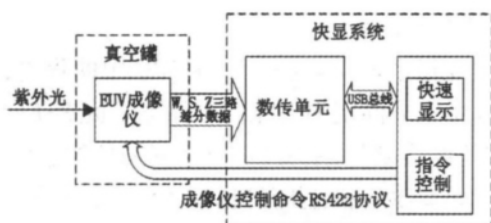


图1 快显系统结构图

指令控制单元通过 RS422 接口发送指令给 EUV 成像仪;成像仪根据接收到的命令做出响应,接收到采集图像的指令后进行成像积累,然后通过十二位的 ADC 对 W,S,Z 的模拟信号进行量化。数传单元实时接收和处理科学数据,通过 USB 总线传送到 PC 机的快速显示单元;快速显示单元将三路原始数据通过应用程序进行处理,完成显示。

3 系统设计

3.1 指令控制单元

指令控制单元如图 2 所示,主要用来控制极紫外光子计数成像仪的工作。通过 PC 机中的串口应用程序发送指令(高压上电、高压下电、摄像开始、摄像停止、返参等),RS-422 通讯卡接收指令数据后通过差分接口标准将指令数据传送给成像仪的 FPGA 芯片,从而控制成像仪工作。指令通讯接口标准采用 RS-422 串行通讯标准。传输波特率为 62500 bps,数据位八位,起始位和停止位各一位,因此,每个数据字节的传输时间为 $10/62500 = 0.16 \text{ ms}$ 。在上位机的串口应用程序设计中,直接调用串口通信控件无法达到系统要求的传输波特率,所以需要调用底层 API 函数编写串口通讯协议。

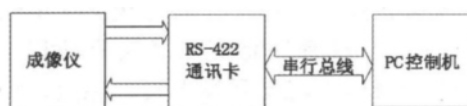


图2 指令控制单元

3.2 数传单元

USB 数据传输单元如图 3 所示,主要包括三部分: FPGA,USB 和高速缓存。EUV 成像仪输出的三路差分数据信号进入 USB 数据传输模块后,在 FPGA 中通过串并转换并按规定的格式打包处理,经由 USB 总线传送到 PC 机中。由于 EUV 相机数据传输速率不均匀,为了避免速率高峰期时出现数据丢失,加入了高速缓存。

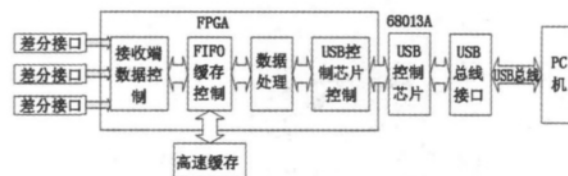


图3 USB 数据传输单元

3.2.1 数传单元的主要芯片的选择

(1) FPGA 芯片

FPGA 芯片选择 Xilinx 公司的 Spartan3A 系列 XC3S50A,Spartan3A 是对低成本、大规模应用的新一代 Spartan-3 系列产品的扩展。Spartan-3A 平台为相对于逻辑密度而言更注重 I/O 数量与功能的应用。差分端口最大传输速率为 $640 + \text{Mb/s}$,支持多种 I/O 标准,支持 400 Mb/s 以上 DDR/DDR2。本设计中选择的 XC3S50A 是一款 50000 门芯片,用户最大可支配 108 个 I/O 引脚,其中 50 个差分 I/O 引脚,可直接连接差分信号。在 FPGA 芯片中通过控制可以直接实现串并转换。

(2) USB 芯片

USB 控制芯片采用 Cypress 公司 EZ-USB FX2 系列的 CY7C68013A,该芯片完全支持 USB2.0,并向下兼容 USB1.1,支持 12 Mb/s 的全速传输和 480 Mb/s 的高速传输。支持四种传输方式:控制传输、中断传输、批量传输和同步传输。本设计采用批量传输。批量传输适用于传输大量的且对传输时间和传输速率均无要求的数据。

3.2.2 基于 FPGA 的 USB 数传控制

FX2 提供了 2 种接口模式: Slave FIFO 和 GPIF (general programmable interface,通用可编程接口)^[3]。GPIF 是主机方式,可以由软件编写读写控制时序,在这种方式下 USB 控制芯片几乎可以对任何通用总线接口进行访问。Slave FIFO 是从属模式,当采用这种模式时,外围电路可像普通 FIFO 一样对 FX2 中端点 2、端点 4、端点 6 和端点 8 的数据缓冲区进行读写,同时接口也可以灵活配置以适应各种需要^[4]。设计中采用的是 Slave FIFO 模式。

为了实现同步收发,设计中的同步时钟信号频率采用48MHz,由CY68013A提供。FPGA作为USB的控制器,通过端点选择信号选择需要操作的USB端点(端点的输入输出属性是由固件程序决定),控制USB总线的读写方向。本设计中端点6为数据发送端点,端点2为数据接收端点。FPGA通过对端点状态信号进行判断,发送读写FIFO信号实现对Slave FIFO的读写操作。两者间的通信过程大致如图4所示。

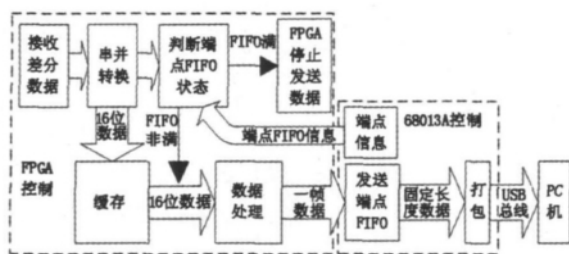


图4 FPGA-68013A的写通信过程

3.3 快速显示单元

EUV输出的数据以包头+数据+包尾的形式通过USB总线传输到PC机中,一帧的数据总大小为1Kbyte,其中1008字节的图像数据中分别包括对W,S,Z的模拟信号量化后的数字信号QS,QW,QZ。在进行数据处理时,先进行解包处理,提取每一帧图像数据对应的QS,QW,QZ,一组QS,QW,QZ对应一个成像点,利用公式(1)和公式(2)计算出该点在图像中的位置即坐标(x,y),对应坐标(x,y)处的像素的值加一,依次计算累加便可以得到整幅图像的像素值。

$$x = 1500 \times k \left(a_1 \times \frac{QS}{QW + QS + QZ} + b_1 \times \frac{QW}{QW + QS + QZ} + c_1 \right) - x_0 \quad (1)$$

$$y = 1500 \times k \left(a_2 \times \frac{QW}{QW + QS + QZ} + b_2 \times \frac{QS}{QW + QS + QZ} + c_2 \right) - y_0 \quad (2)$$

式中,k,a₁,a₂,b₁,b₂,c₁,c₂,x₀,y₀为修正系数,它和电子收集区之间的电容耦合相关。修正系数的值直接影响成像大小及成像质量,其中,k值的大小决定了图像的大小。由于30.4nm的He⁺共振散射辐射较弱,因此需要极紫外光子计数成像仪进行长时间的成像积累^[9]。所以一幅图像往往由许多帧数据计算得到,数据量由成像时间决定,成像时间越长数据量越大,得到的图像信息也就越多,图像也就更加精确。数据量决定成像点的多少但与图像的大小

无关。

4 软件设计

极紫外光子快显测试系统采用USB总线进行数传,所以PC机软件设计应包括三个方面的程序设计:USB固件程序设计、USB设备驱动程序设计和主机应用程序设计。三者之间的关系如图5所示。

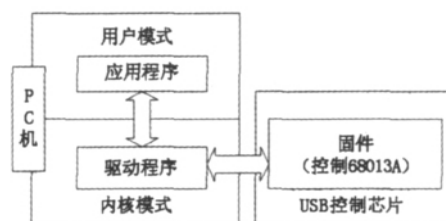


图5 软件间的通信关系

4.1 固件程序

固件程序是指运行在设备CPU中的程序,控制外部设备完成固定的功能。固件程序负责初始化单元,重新设置设备,主要包括设备描述符信息、设备功能代码。设备描述信息描述USB设备的一般特性和配置,如设备类别、接口配置、VID和PID等。装载不同的固件设备就能完成不同的功能^[9]。

在SLAVE FIFO方式中,固件程序主要完成各个端口的初始化。可使用Cypress公司提供的固件程序,根据工作要求进行修改。一般需要修改的地方有两个,一个是USB描述符列表文件,根据实际情况修改里面的端口数和传输方式等。另外一个地方是初始化函数。

4.2 驱动程序

驱动程序介于硬件与软件之间,是连接到计算机硬件的软件接口,完成外设和用户程序的通信及控制,装入后成为操作系统的一部分。USB驱动程序主要分USB底层驱动程序和USB功能驱动程序两部分。

USB底层驱动程序主要功能是枚举它的总线,发现总线上的全部设备并检测设备的添加和删除负责与实际的硬件打交道。Windows操作系统提供了通用的USB底层驱动程序,不需要开发者自行设计。

USB功能驱动程序知道如何控制设备,通过向USB底层驱动程序发送请求来实现对USB设备信息的发送和接收。对于上层传送下来的硬件操作命令,功能驱动程序将交由底层驱动程序来完成。功能驱动程序需要开发者自己编写。Cypress公司为EZ-USB提供了通用的功能驱动程序,该

程序可根据实际需要稍加改动,经 DDK 编译后使用。

4.3 应用程序

应用程序是系统与用户的接口,使用 VC++ 6.0 进行开发,通过 API 函数使得设备驱动程序和应用程序之间互相通信。主机端的应用程序包括指令控制应用程序和数传与快显应用程序。指令控制应用程序调用 API 函数完成串口通信,程序比较简单,下面主要介绍数传与快显应用程序。

主机端的数传与快显应用程序完成对外设的控制和通信,负责接收 USB 总线上的大量数据,实现图像快速显示。EZ-USB FX2 开发套件提供了主机端驱动程序(ezusb.sys),可适用于许多实际应用。本设计中应用程序主要包括数据读写、数据计算、描点绘图、定时器回放绘图和原始数据波形显示几个功能。

Windows 提供 CreateFile 函数来完成对指定名称设备的打开操作^[4],该函数返回设备对象的句柄,设备的句柄是一个唯一的标示符,由 Windows 指定给每个设备的实际变量。应用程序得到设备的句柄后,就可以使用各个 Win32 例程访问它,如 ReadFile, WriteFile, DeviceIoControl 和 CloseHandle。这些调用都产生一个请求,以 I/O 请求包(IRP)的形式传递到驱动程序^[4]。

本设计中采用多线程的方式实现数据的接收。接收数据后进行数据处理完成图像的快速显示。

为了方便进行测试,应用软件还可以对图像进行保存、缩放、阈值转换等一系列图像处理。设计了回放功能对图像成像过程进行回放显示。

5 系统测试与结果

空间分辨率是衡量成像仪性能的重要指标,本设计中使用快显系统检测成像仪的空间分辨率。连接硬件设备,打开软件,在探测器前面零距离处放置空间分辨率板,使用紫外准直光束照明,完成准备工作。指令控制单元通过 RS422 协议发送命令控制成像仪工作,极紫外光子计数成像仪接收到命令后进行图像采集并返回参数标志工作状态,USB 数据传输单元处理并传送三路有效数据到 PC 机,PC 机的快速显示单元进行数据接收和图像快速显示。

测试结果如图 6 所示,左上方的成像区可以清晰的观测到极紫外光子计数成像仪采集到的分辨率图像。分辨率板上的每一组线宽对应不同的线对,成像仪所能分辨的最窄线对就是它的空间分辨

率^[5]。由该分辨率图中的线宽线段判断成像仪的分辨率为 0.28 mm。波形显示区以像素点为单位(一个像素点对应一组 QW, QS, QZ) 显示接收到的三路原始数据(QW, QS, QZ) 波形。根据包号查看存储在硬盘中的原始数据包,发现包号连续,包内也没有出现数据丢失。表明设计中 USB 总线有效数据带宽完全能够满足系统需求。

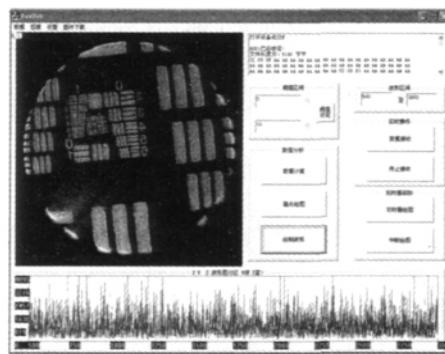


图 6 应用程序界面

测试结果显示本测试系统可以成功的实现在线成像控制、实时数据接收、快速图像显示、图像处理等各项测试功能,能够完成极紫外成像测试。

6 结论

极紫外光子计数成像仪的研发对空间环境探测具有重大的意义,极紫外图像快显系统为成像仪的成像测试提供了极大的便利。其中,指令控制单元采用 RS-422 通讯协议进行通信,软硬件合作实现对成像仪的工作控制;数传系统采用 USB 总线进行通信,USB 以其低成本、高速率、热插拔、即插即用等特点安全、高效的实现了数据传输;快速显示单元,在 Windows 操作系统中实现实时数据接收,并完成了数字图像的快速显示。

参考文献:

- [1] Cheng Bingjun, Sun Yueqiang, Li Lei, et al. Design and realization of signal processing system of the extreme ultraviolet imager [J]. Science Technology and Engineering, 2008, 8(9): 2381-2383. (in Chinese)
- [2] 程炳钧, 孙越强, 李磊, 等. EUV 成像仪信号处理设计与实现 [J]. 科学技术与工程, 2008, 8(9): 2381-2383.
- [3] Liu Wenguang, Wang Xiaodong. Design and implementation of EUV band photon counting imaging detector [J]. Silicon Valley, 2010: 114. (in Chinese)
- [4] 刘文光, 王晓东. EUV 波段光子计数成像探测器信息处理器的设计与实现 [J]. 硅谷, 2010: 114.
- [5] Chen Yuanlin, Tang Xinyi, Yu Yang. Design and imple-

mentation of portable real-time IR dynamic scene simulator [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(1): 71-74. (in Chinese)

陈元林, 汤心溢, 于洋. 便携式实时红外动态场景仿真器设计与实现 [J]. 激光与红外, 2010, 40(1): 71-74.

- [4] Dai Xiaojun, Yang Xuguang, Ding Tiefu, et al. High-speed data communication interface implementation based on USB2.0 [J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2006, 29(4): 1320-1324. (in Chinese)

戴小俊, 杨绪光, 丁铁夫, 等. 基于 USB2.0 的高速数据通信接口设计 [J]. 电子器件, 2006, 29(4): 1320-1324.

- [5] Huanor. USB2.0 + FPGA Development of documents [EB/OL]. <http://www.huanor.com>, 2007: 70-100. (in Chinese)

Huanor. USB2.0 + FPGA 开发文档 [EB/OL]. <http://www.huanor.com>, 2007: 70-100.

- [6] Liu Fei. Design of mini system high-speed image storage [D]. Xi'an: Xidian University, 2009. (in Chinese)

刘飞. 小型高速图像存储系统的设计 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.

- [7] Kuang Shuqing, Li Wenhua. USB Data transfer applied in laser carving machine [J]. Metrology & Measurement Technique, 2004, 10: 31-33. (in Chinese)

况淑青, 李文华. USB 数据传输在激光雕刻系统中的应用 [J]. 计量与测试技术, 2004, 10: 31-33.

- [8] Ni Qiliang, He Lingping, Liu Shijie, et al. Extreme ultraviolet single photon-counting imaging system based on induced charge position-sensitive anode [J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(12): 2543-2547. (in Chinese)

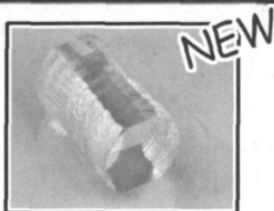
尼启良, 何玲平, 刘世界, 等. 使用感应电荷位敏阳极的极紫外单光子计数成像系统 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(12): 2543-2547.



全球专业的激光晶体和非线性光学晶体制造商

磁光晶体系列

铽镓石榴石 (TGG)



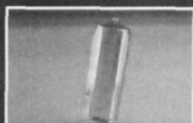
BBO Q-开关

BBO 普克尔盒的应用

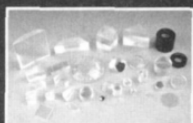
- 1、高重复频率DPSS中Q开关的理想选择
- 2、用于高重复频率再生放大系统的控制
- 3、腔倒空系统
- 4、削波



Q开关驱动源



超长 Nd:YVO₄ 晶体



光学产品

产品系列

1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 绿光、蓝光晶体组件
4. 声光和电光晶体
5. 双折射晶体
6. 闪烁晶体
7. 激光光学产品
8. 通讯光学产品
9. 红外光学产品
10. Q-开关、温控炉等