

文章编号:1007-2780(2014)04-0553-06

手机摄像头 MIPI-PHY 的 FPGA 实现与显示

张 赫*,李 刚,张 叶

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所

中国科学院航空光学成像与测量重点实验室,吉林 长春 130033)

摘要:目前高端手机摄像头均为 MIPI 接口,该接口信号不能直接通过 FPGA 或 DSP 采集。但随着仪器设备的小型化趋势和手机摄像头性能的不断提高,使得在某些军事、工业设备上使用手机摄像头成为重要的方案之一。为了让手机摄像头在上述领域使用,本文设计了一种可以接收并处理 MIPI 信号的通用 MIPI-PHY。选择适合的 FPGA,设计电气匹配和管脚约束来采集专用电平的信号;再根据信号协议,将混叠了各种信息的 MIPI 信号进行处理,分离出行、场同步信号,进行时序整合;根据整合后的信息将图像信号解码成通用的 LVCMOS 信号并进行成像实验。在帧频为 22 fps、像素分辨率 $3\,264\times 2\,448$ 时成像质量高、无畸变、长时间连续成像无丢帧现象,证明了该设计的可靠性和稳定性。同时程序可移植性强、输出为并行信号,满足开发人员的使用要求,已应用到某些具体项目中。

关 键 词:手机摄像头;MIPI-PHY;FPGA

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142904.0553

Mobile phone camera MIPI-PHY implementation and display by FPGA

ZHANG He*,LI Gang,ZHANG Ye

(*Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement,Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics,Chinese Academy of Sciences,Changchun 130033,China*)

Abstract: High-performance mobile phone cameras are MIPI interface currently,its signal can't be collected by FPGA or DSP directly. However,with the miniaturization trend of equipment and improvement of the performance,using mobile phone cameras becomes one of the most important schemes in the military and industrial areas. In order to use mobile phone cameras in the areas mentioned above, this paper presents a common MIPI-PHY which can receive and process MIPI signal. An appropriate FPGA is adopted to collect the special voltage-level signal by designing electrical matching and pin construction. According to the signal protocol,the aliasing MIPI signal is processed,separated and integrated sequentially,then image information is decoded into common LVCMOS signal according to the integrated signal. Under the condition that frame rate is 22 fps and image resolution is $3\,256\times 2\,448$,a high imaging quality is achieved via this system with no distortion and frame losing. What's more,with powerful transplantable capability and parallel signal,the program can satisfy developer's

收稿日期:2014-01-01;**修订日期:**2014-01-15.

基金项目:吉林省重大科技攻关(No. 11ZDGG001);国家自然科学基金青年基金(No. 60902067)

* 通信联系人,E-mail:zhenghe@ciomp.ac.cn

need and is already applied into some projects.

Key words: mobile phone camera; MIPI-PHY; FPGA

1 引言

随着多媒体的迅速发展,手机摄像头技术日新月异。目前许多非手机行业设备的研制需要小型摄像头时往往采用较小的工业相机,随着装置小型化的需求增加和手机摄像头的性能不断提高,专用高性能手机摄像头在其他领域的使用成为可能和趋势。目前市场上高端手机摄像头模块多为 MIPI 接口,较主流的手机处理芯片均为 ARM 芯片,其运算速度与功能无法跟高端 FPGA+DSP 方案媲美,更主要的是与前期技术结合性和移植性差,使得手机摄像头在大多数工业、军事上的应用捉襟见肘。目前全球仅一两家 FPGA 厂商研制带有 MIPI 接口的 FPGA 或者设计 MIPI 解码 IP 核,这些 IP 核价格昂贵。

为了将手机摄像头应用在其他领域而不用花大量的资金用在购买国外的 IP 核,本文设计了一个 FPGA 通用的 MIPI-PHY,将接收到的 MIPI 信号经过解码等处理,输出常用的并行信号供开发人员使用,该设计移植性好、可在已有程序中直接调用。

2 MIPI 简介

Mobile Industry Processor Interface 即移动产业处理接口,简称 MIPI,手机摄像头视频信号

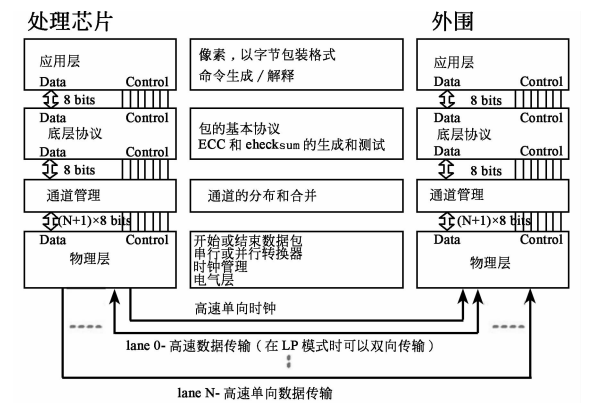


图 1 应用层、协议层和物理层

Fig. 1 Application layer, protocol layer and physical layer

是按照 MIPI 其中的 CSI 协议输出的。目前流行的 CSI-2 协议是一个双向差分串行协议,包含时钟和数据信号,由应用层、协议层和物理层组成^[1]。其各层定义如图 1 所示。工作特点为低功耗、高速,每个通道传送速率高达 1 000 Mbit/s、物理层低成本、抗干扰能力强。

3 电气接口

3.1 MIPI 电气接口简介

MIPI 信号为差分数据,包含一个时钟差分对和两个数据差分对。每个数据传输通道都有 2 种传输模式:LP(低功耗模式)和 HS(高速模式)。LP 模式传输速率为 10 Mbit/s、信号为 0~1.2 V 摆幅。HS 模式传输速率可高达 1 Gbit/s、信号为 100~300 mV 摆幅。两种模式混叠在一起传输如图 2 所示。

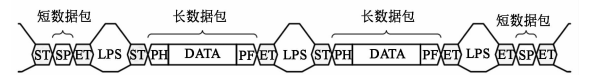


图 2 LP 信号与 HS 信号混叠输出

Fig. 2 LP signal and HS signal output

HS 传输分为长数据包和短数据包。长数据包为图像数据信息,短数据包为行、场同步等信息。较高端的手机摄像头 HS 只传输长数据包,行、场同步信息均混叠在 LP 模式中传输。图 3 为实拍 MIPI 数据通道信息,根据 LP 脉冲宽度和下降沿确定行、场同步信号。

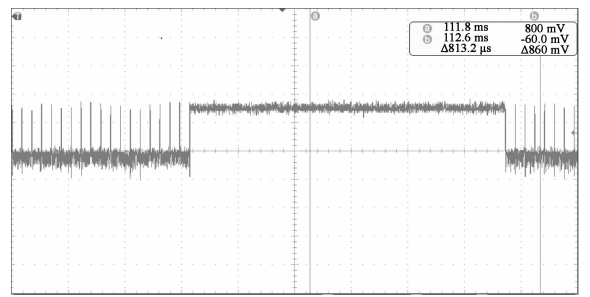


图 3 行、场同步信号

Fig. 3 Hsync and Vsync signal

3.2 电气接口设计

由于 LP 和 HS 信号混叠在一起传输,接收端必须通过 2 种接收方式分别接收,LP 和 HS 信号接收设置如图 4 所示。数据传输的差分信号直接经过 HS 接收端接收,同时引出差分信号中的一条线连接至 LP 接收端进行数据接收。

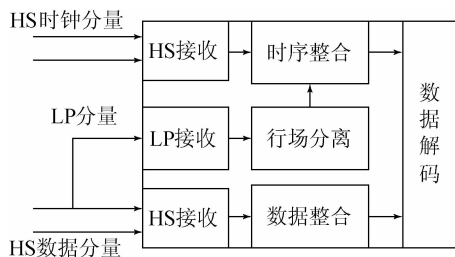


图 4 LP、HS 接收设置

Fig. 4 LP, HS receiving setting

3.2.1 FPGA 选型

本系统中 FPGA 选型为 XILINX 公司的 Spartan6 系列的 FPGA。考虑到 HS 信号和 LP 信号的特殊性,在设计 FPGA 管脚约束时,根据两种信号选择适合的约束管脚类型,在后续章节会依次提及。而在 XILINX 公司研制 Sparntan6 之前所生产的 Virtex5 及更早的产品中管脚约束不能满足要求^[2]。HS、LP 管脚电平标准如图 5 所示。

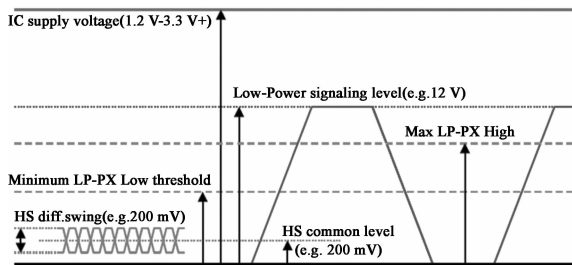


图 5 HS、LP 电平标准

Fig. 5 HS, LP voltage standard

3.2.2 HS 接收端设计

根据 HS 信号的特点首先设计 FPGA 管脚约束。在 Spartan6 上任意找 3.3 V 或者 2.5 V 供电的 bank 上的几对差分脚,设置这几对差分脚约束为 PPDS_33 或者 PPDS_25,根据 Spartan6 的管脚设计指南,PPDS_33 和 PPDS_25 管脚的电气标准一样,为差分 I/O,最小输入差分

振幅为 100 mV,最大输入差分振幅为 400 mV。振幅中心可在 200 mV~2.3 V。接收端驱动电路如图 6 所示,通过 2 个 50 Ω 电阻形成 200 mV 摆压,共模电容接地进行共模滤波^[3-5]。

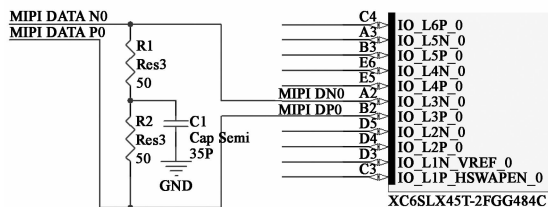


图 6 HS 接收电路

Fig. 6 HS receiving circuit

3.2.3 LP 接收端设计

LP 不是差分信号, V_{OL} 为 0 V, V_{OH} 为 1.2 V。LP 电平混叠着 HS 信号,根据 MIPI 协议资料推荐,LP 信号在被管脚接收前进行低通滤波来滤除 HS 部分高频信号。但是低通滤波器同时具有积分作用,信号将产生较小的延时,在此类将行、场同步信号融合在 LP 信号中的数据类型,LP 信号作用十分重要,较小的延时将会导致在解析 8 位或者 10 位 MIPI 数据时相位出错,很难采集到数据开始帧。

所以设计时应避免使用低通滤波器而采用特定的管脚约束,直接将 LP 信号连接 FPGA 的管脚,同时提高接收端低电平信号的噪声容限。

4 FPGA 模块设计

4.1 提取行、场同步信号

行、场同步信号如上图 3 所示,其中较宽的脉冲为场同步信号,较窄的脉冲为行同步信号。根据两种脉冲的宽度差异设计 FPGA 模块自动提取行、场同步信号^[6],程序流程图如图 7 所示。HS 的数据信号是叠加在 LP 的低电平中,所以输出的行、场同步信号为低电平有效。

4.2 数据解码

4.2.1 MIPI 编码简介

MIPI 的数据差分线对以 Byte 位传输,分为长数据包和短数据包。本系统中采用的 S5K3H2Y 相机模组只含有长数据包,长数据包中的信息混叠在 LP 信号中并编码^[7]。构成如图 8 所示,由 32 位(4 Byte)的包头、N 字节的数据和

16 位的 CRC 构成。其中包头由 8 位数据标志符、16 位计数值和 8 位 ECC 构成。

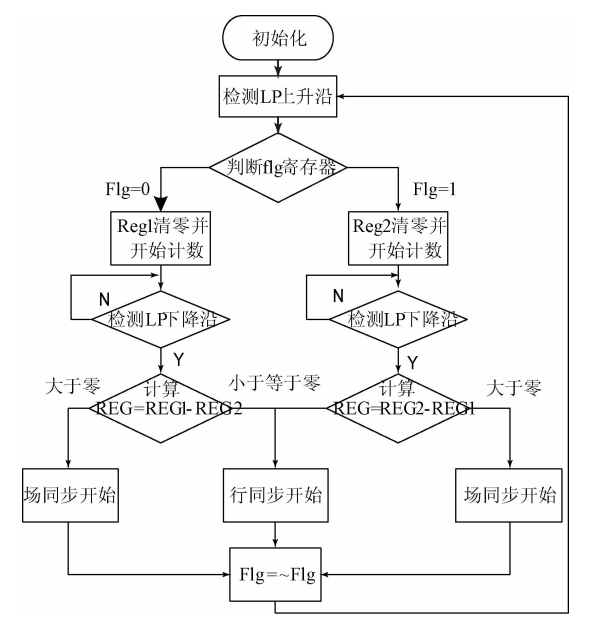


图 7 行、场分离流程图
Fig. 7 Hsync and Vsync separating flow chart

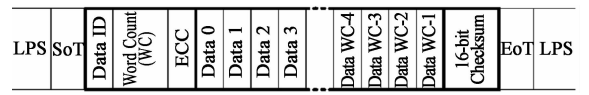


图 8 长数据包
Fig. 8 Long data package

对于大多数的 8M 像素分辨率的手机摄像头,在配置成高性能模式时均为 Lane-2 模式,此时数据为两对差分信号。数据读取方式为两路依次读取,即在 lane1 读取 1 Byte 之后在 lane2 中读取 1Byte,然后重新读取 lane1,依次循环,读取模式如图 9 所示。

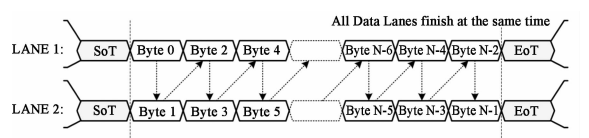


图 9 双通道数据读取模式
Fig. 9 Read mode of 2-lane

4.2.2 MIPI 解码设计

当 LP 通道检测到场同步信号下降沿时,表示场同步信号开始。设置大约 50 个像素延时后开始接收数据。首先检测 SOT 位 (Start-of-transmission),当检测到“B8”时,此通道传输就

绪。之后依次检测 Data ID 位,Word Count 位和 ECC 位。根据这些位可以确定接下来将要传输的数据信息。Word Count 代表本次传输将传送数据的长度,有效传送数据最大字节为 65 535 bytes。ECC 为错误校验,如果校验出错,此时产生误检,此数据包丢掉,重新开始等待场同步信号。ECC 位之后就可以依次接收像素数据,此次采集到的数据为第一行数据,接下根据行同步信号的下降沿分别开始接收数据,并在依次检验 Data ID 位、Word Count 位和 ECC 位后,接收每一行的数据。程序流程图如图 10 所示。FPGA 内部各模块的组成结构如图 11 所示。

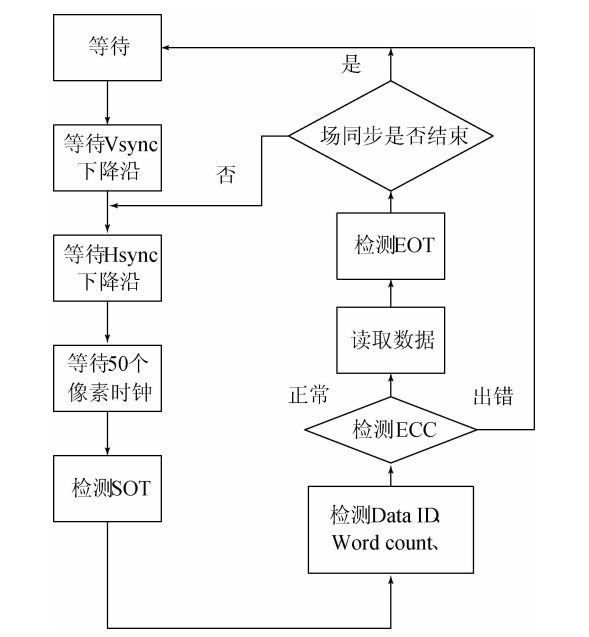


图 10 数据解码流程图
Fig. 10 Data decoding flow chart

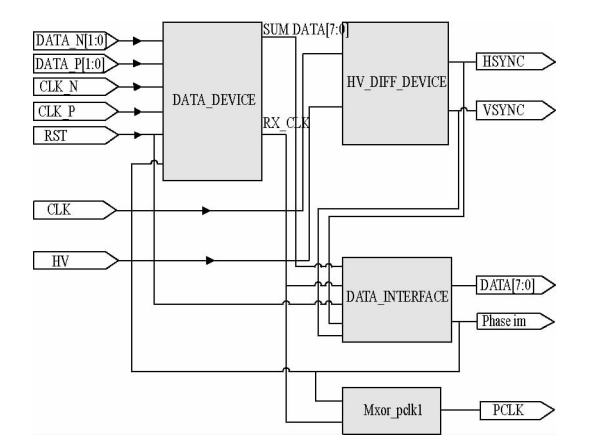


图 11 功能模块的组成结构
Fig. 11 Structure of function module

5 实验结果

用该系统进行实验,行、场同步信号分离实验结果如图 12 所示,线 1 为场同步信号 Vsync,线 2 为行同步信号 Hsync,线 3 为原始信号。其中线 1 和线 2 为 FPGA 输出 3.3 V 电压,线 3 为摄像头模组 1.2 V 电压。

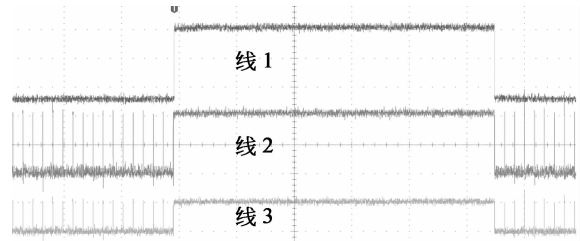


图 12 行、场分离
Fig. 12 Hsync and Vsync separated

FPGA 资源使用情况如图 13 所示,FPGA 的基本查找表单元 LUT 仅占全资源的 1%。

Slice Logic Utilization:		
Number of Slice Registers:	358 out of 184,304	1%
Number used as Flip Flops:	358	
Number used as Latches:	0	
Number used as Latch-thrus:	0	
Number used as AND/OR logics:	0	
Number of Slice LUTs:	394 out of 92,152	1%
Number used as logic:	374 out of 92,152	1%
Number using O6 output only:	283	
Number using O5 output only:	28	
Number using O5 and O6:	63	
Number used as ROM:	0	
Number used as Memory:	0 out of 21,680	0%
Number used exclusively as route-thrus:	20	
Number with same-slice register load:	17	
Number with same-slice carry load:	3	
Number with other load:	0	

图 13 FPGA 资源使用情况
Fig. 13 Resource usage of FPGA

用手机摄像头在实验室拍照结果如图 14 所示,其中图像格式为 RAW8,分辨率为 3 264 × 2 448,摄像模式时每秒 22 帧。

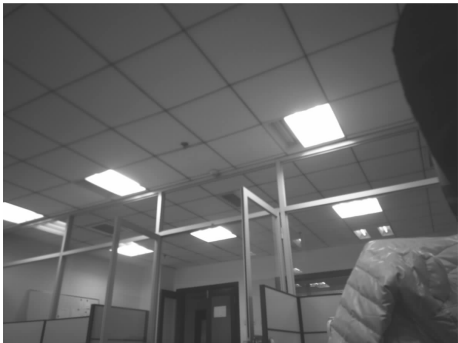


图 14 实验结果
Fig. 14 Experiment result

6 结 论

根据上述实验结果,摄像头成像质量高,边缘畸变小^[8],长时间工作稳定,没有丢帧现象。本 MIPI-PHY 适合于各种 MIPI 接口的摄像头,移植性强,已经用到某具体项目中,效果良好。证明了高端的手机摄像头可以用在很多军事、工业的项目中。随着 CMOS 技术和微电子技术的发展,更多的行业会逐渐使用手机摄像头。

参 考 文 献:

[1] MIPI Alliance, Inc. MIPI Alliance Specification for Camera Serial Interface 2[EB/OL]. [2009-12-15]. <http://www.mipi.org>.

[2] Xilinx Inc. Spartan-6 FPGA DATA Sheet:DC and Switching Characteristics [EB/OL]. [2011-12-17]. <http://www.xilinx.com>.

[3] 王剑宇,苏颖. 高速电路设计实践[M]. 北京:电子工业出版社:68-71.
Wang J Y, Su Y. *Practice of High Speed Circuit Design* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry: 68-71. (in Chinese)

[4] 王增发,孙丽娜. CFA 图像实时插值在 FPGA 上的应用 [J]. 液晶与显示,2013,28(4):615-619.
Wang Z F, Sun L N. Application of CFA images interpolation algorithm in FPGA real-time system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2013, 28(4): 615-619. (in Chinese)

[5] 冉峰,杨辉,黄舒平. 面阵 CCD 彩色视频图像实时采集系统的设计 [J]. 光学精密工程,2010,18(1):273-280.
Ran F, Yang H, Huang S P. Design of real-time color video capture system for area array CCD [J]. *Opt. Precision*

Eng., 2010, 18(1): 273-280. (in Chinese)

[6] 郑争兵. 基于 FPGA 的图形点阵液晶显示系统设计与实现[J]. 液晶与显示, 2013, 28(3): 403-407.
Zhang Z B. Design and implementation of graphics dot matrix LCD based on FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2013, 28(3): 403-407. (in Chinese)

[7] Samsung Electronics Co., Ltd. S5K3H2Y_Datasheet_REV0. 3[1] [EB/OL]. [2010-12]. <http://www.samsung-semi.com>.

[8] 苗健宇, 张立平, 翟岩, 等. 小型连续变焦相机的结构实现 [J]. 中国光学, 2014, 7(1): 169-174.
Miao J Y, Zhang L P, Zhai Y, et al. Structural realization of small zoom camera [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(1): 169-174. (in Chinese)

作者简介: 张赫(1985—), 男, 吉林长春人, 硕士, 研究实习员, 主要从事 FPGA 设计和图像处理硬件电路设计工作。
E-mail: zhenghe@ciomp.ac.cn

中科院长春应化所有机电光子器件与物理研究团队

中科院长春应化所有机电光子器件与物理研究团队由中科院百人计划和国家杰出青年科学基金获得者马东阁博士于 2001 年组建, 隶属于高分子物理与化学国家重点实验室。目前该研究团队有固定成员 9 人, 其中研究员 1 人, 副研究员 1 人, 助理研究员 6 人, 研究实习员 1 人。在读研究生 12 人, 在站博士后 1 人, 已毕业研究生 26 人, 出站博士后 6 人。团队自成立以来, 承担和参与国家及省部级研究项目 20 余项, 共发表学术论文 230 余篇, 申请和授权国家发明专利 26 项, 研究成果获得吉林省科技进步奖一等奖两项(2007 年和 2012 年)和国家自然科学二等奖一项(2009 年)。

团队的主要研究方向包括有机发光二极管(OLED)、有机光电探测器、有机自旋器件以及有机半导体电输运理论等。目前实验室已经建立了先进的有机光电子器件研发平台, 拥有多套先进的薄膜沉积系统和光电测试系统。经过十余年的积累, 团队在有机光电子器件与物理研究方面取得了一系列创新性研究成果, 特别是在 OLED 方面, 不但开发出性能达到国际水平的器件, 同时还成功研制出大面积发光板和照明灯具, 为 OLED 照明产业化奠定了良好基础。研究团队以自主研发的 OLED 照明技术为依托, 成立了哈尔滨欧昇光电科技有限公司(www.oshine-oled.com), 以公司为产业基地, 大力推动和发展 OLED 照明产业化。

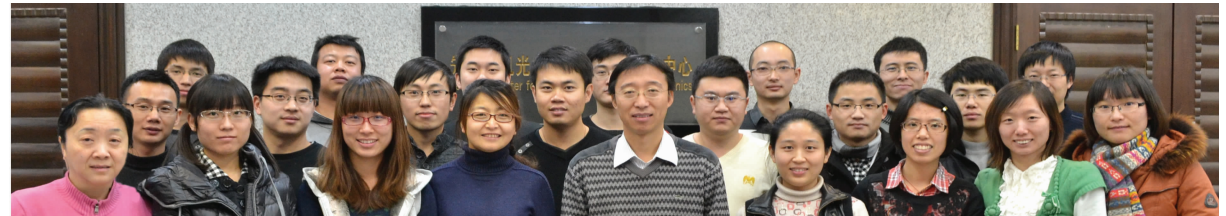


图 1 长春应化所有机电光子器件与物理研究团队

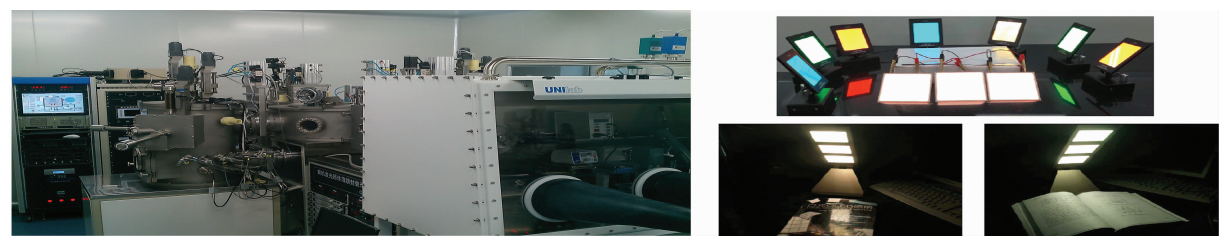


图 2 部分实验室设备和研发的 OLED 发光板及灯具

地址: 吉林省长春市人民大街 5625 号
邮编: 130022
电话: 0431-85262357(马东阁)
邮箱: mdg1014@ciac.ac.cn