

文章编号: 1672-8785(2013)04-0024-04

一种便携式电晕检测紫外相机的设计

叶柏松^{1,2} 袁永刚^{1,3} 王继强¹ 林子棋³ 李向阳¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所红外成像与器件重点实验室, 上海 200083;

2. 中国科学院大学, 北京 100039;

3. 常州光电技术研究所, 江苏常州 213100)

摘 要: 介绍了一种便携式电晕放电检测紫外相机的设计方案。该相机选用 320×256 元 AlGaIn 基“日盲”紫外焦平面作为探测芯片, 其波长范围为 240~280 nm, 具有可见光和紫外两个通道, 充满电后能持续工作 6 h 以上。实验结果表明, 该相机可以成功获取清晰的紫外目标图像, 并可实现对紫外信号的实时监测。

关键词: 电晕放电; 紫外相机; FPGA; 铝镓氮

中图分类号: TN23 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.04.005

Design of a Portable UV Camera for Corona Detection

YE Bai-song^{1,2}, YUAN Yong-gang^{1,3}, WANG Ji-qiang¹, LIN Zi-qi³, LI Xiang-yang¹

(1. Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Detectors, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Changzhou Institute of Optoelectronic Technology, Changzhou 213100, China)

Abstract: A portable UV camera for corona detection is presented. The camera uses a 320×256 pixel solar-blind UV FPA with the spectral range from 240 to 280 nm as its core detector. It has both a visible channel and a UV channel and can continuously operate for six hours after it is fully charged. The experimental results show that the camera can acquire clear UV images of the targets successfully and can be used to monitor UV signals in real time.

Key words: corona; UV camera; FPGA; AlGaIn

0 引言

在电力领域, 当架空输电线路表面的电场强度超过 30 kV/cm 时, 空气分子就会被电离, 从而产生“电晕”放电现象^[1]。电晕需要消耗电能。据不完全统计, 全国每年因此损耗的电能达到了 20.5 亿千瓦时^[2]。同时, 对于高压电气设备, 电晕放电会使导线表面发生腐蚀, 逐渐破坏设备的绝缘性能, 降低导线的使用寿命^[3]。此

外, 电晕放电过程中产生的脉冲还会使广播电视或者无线通信受到严重干扰。随着现代电力工业朝着高电压等级和超大容量的方向发展, 电网设备数量持续增加, 运行要求也日趋严格。因此维护好各级电网和降低电网运行维护成本, 对于保证电网安全、改善电能质量以及提高供电可靠性都具有重要意义。在空气中, 电晕放电所产生的光谱与放电区域的材质有关。在一般

收稿日期: 2013-03-29

基金项目: 江苏省产学研与常州市科技支撑项目 (SBY201120177; CM20103004; CE20110025); 中国科学院院地合作项目 (BE2010056)

作者简介: 叶柏松 (1985-), 男, 江西上饶人, 博士研究生, 主要从事紫外探测技术应用研究。

E-mail: ye0805@126.com

情况下, 弱小的电晕放电所产生的电磁辐射波长较短, 不超过 400 nm^[4]。目前电晕放电检测手段主要包括人工目视检查、红外热成像探测以及紫外成像探测等方法^[5]。其中, 工作在“日盲”波段的紫外焦平面由于消除了日光和其他光谱的干扰, 能够获得清晰的电晕图像和准确测定故障位置, 误报率低, 现已成为高压输运中不可或缺的技术手段。

本文采用上海技术物理研究所自主研发的 AlGaIn 基紫外焦平面组件, 给出了一种高性能便携式电晕检测相机的设计方案, 并对其进行了成像实验。

1 紫外相机的总体结构

整个相机主要由紫外定焦光学系统、固定波段的滤光片、数字化紫外焦平面组件、图像数据处理模块、可见光观察系统、视频显示和电源模块等部件构成。其中, 紫外定焦光学系统用于将较大视场范围内的紫外场景成像在紫外探测器阵列的光敏面上, 从而将极微弱的紫外辐射转换成较强的光电流输出; 焦平面读出电路将其进一步转换成电压信号, 并按一定格式输送到图像数据采集模块进行处理, 最终实现固定视场内的紫外目标成像, 并在液晶屏上加以显示; 此外, 可见光通道用于实现目标的瞄准和观察。图 1 所示为该相机的基本组成模块。

1.1 AlGaIn 基紫外焦平面组件

AlGaIn 是一种宽禁带直接带隙半导体材料, 具有优良的“日盲”特性和紫外灵敏度。随着 III-V 族氮化物生长工艺的成熟和 P 型掺杂技术的突破, AlGaIn 基材料已经成为紫外探测器研究的热点。利用这种材料制成的探测器在

近紫外波段的量子效率很高, 通常大于 80%, 其截止波长可覆盖 190 ~ 360 nm。与其他半导体材料器件相比, AlGaIn 基紫外探测器具有吸收系数高、截止波长陡峭、响应速度快、暗电流小、噪声低以及无需高压偏置等优点^[6,7], 并且可以通过调节 Al 组分的掺杂浓度改变器件的截止波长。

近年来, 上海技术物理研究所在 AlGaIn 基紫外焦平面上的研究一直处于国内领先地位, 我们对探测器阵列、读出电路和钢柱互连等方面都进行了颇具意义的探索。本文核心探测芯片采用我所在 2010 年研制的像元面积为 30 μm $\times$ 30 μm 的 320 $\times$ 256 元紫外焦平面, 其光谱响应和封装结构见图 2。

1.2 紫外定焦光学系统

紫外成像系统的光学部分主要包括光学镜头和“日盲”紫外滤光片。其中, 光学镜头是紫外相机光学系统的设计核心。为了降低设计难度和提高成像质量, 相机的紫外镜头采用定焦模式。同时, 为了减少其他波段太阳辐射的干扰, 让紫外光先通过滤光片进行滤光, 然后再进入焦平面成像。

由于探测器的像素尺寸在不断减小, 紫外光学系统所要达到的分辨率必须满足紫外探测器的尺寸要求。在 18 lp/mm 下, 我们所用焦平面阵列的 MTF 需要大于 0.3。为实现这一目标, 我们通过增加光学元件的数量来提高光学系统的分辨率。图 3 为紫外光学镜头的结构图。光学设计结果表明, 在 30 lp/mm 下, 该系统的 MTF 大于 0.3, 而且光斑的质心半径 RMS 小于 15 μm , 能量的集中度得到了大幅提高。

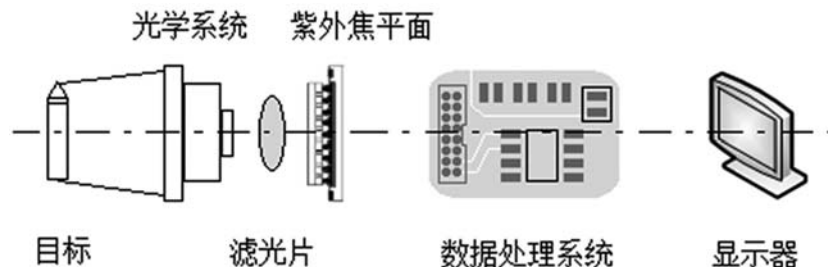


图 1 基本组成模块

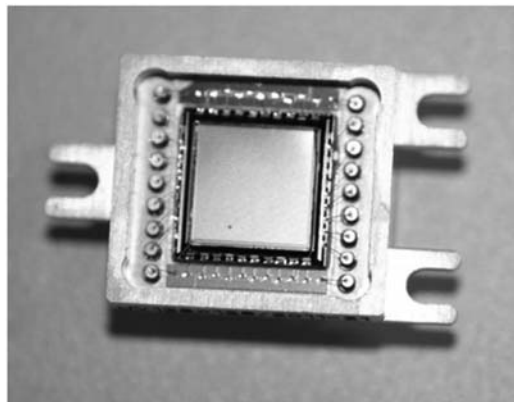
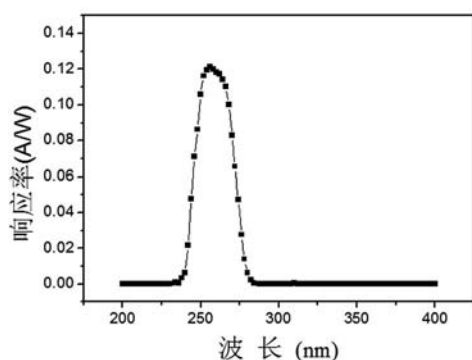


图 2 320×256 元紫外焦平面的光谱响应与封装结构

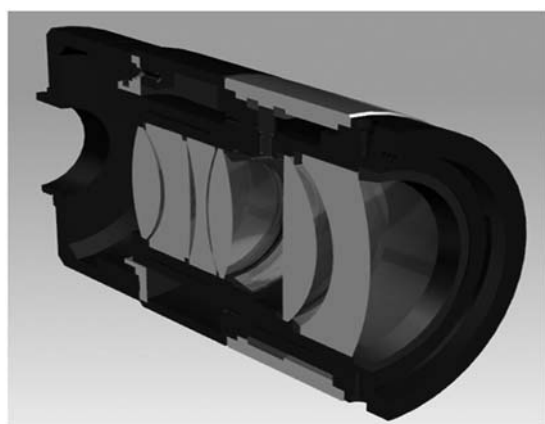


图 3 紫外光学镜头的结构图

1.3 相机的数据处理电路

整个相机以 FPGA 为控制核心，其与外围辅助电路共同构成相机的图像数据处理系统，包括信号放大电路、A/D 转换电路、FPGA 电

路、相机控制电路、接口通信电路、电源电路和图像显示电路，如图 4 所示。相机的主要工作过程如下：首先通过 FPGA 产生紫外焦平面的控制时序，经过相关双采样和背景抑制后将探测器输出的模拟信号送入放大和滤波电路，并将预处理后的信号输入 A/D 转换电路进行数字化，然后由锁存器实现多路数据的合并，最后在 FPGA 中进行图像处理，并输入显示部分实现图像显示，同时通过智能通信接口将数据送到上位机或移动设备进行存储。

在整个工作过程中，当探测器接收到入射的紫外辐射后，在入射位置上会产生一个与入射紫外光强度相关的局部电荷，而焦平面中的读出电路通过积分把此电荷转换成电压信号，

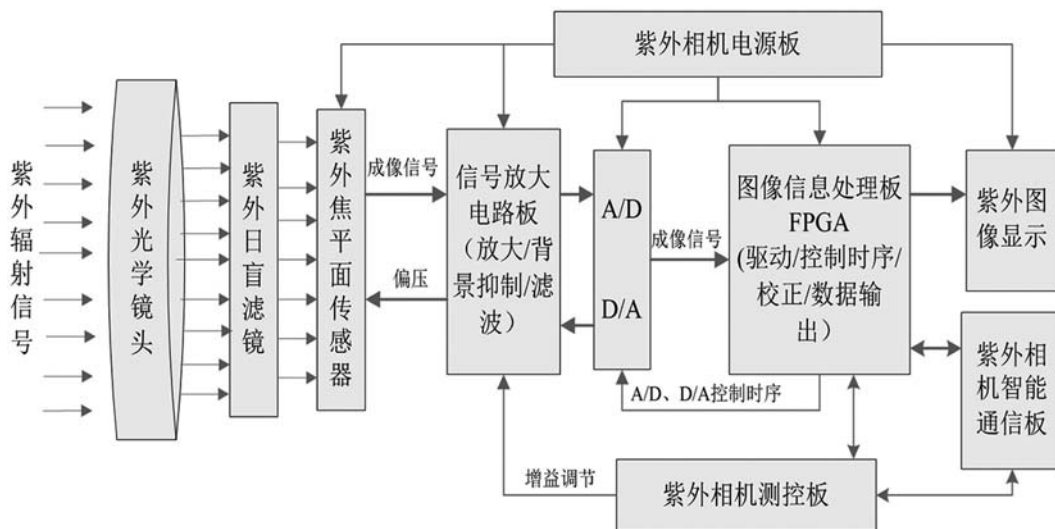


图 4 紫外相机的硬件结构与数据获取流程

并将其进行放大后依次输出。本文采用的 320×256 元紫外焦平面内部集成了相关双采样电路, 具有 4 个通道、8 路输出, 采用边积分边读出的工作模式。在成像过程中, FPGA 首先需要产生焦平面的驱动时序, 然后对经过 A/D 转换之后的 8 路数据进行采集与合并, 最后实现完整的紫外目标成像。由此可见, 本系统中 FPGA 需要完成大量的数据处理和逻辑运算工作, 同时还需具备存储器和大量的 I/O 引脚, 因此我们选用 XILINX 公司生产的 SPARTEN-3 系列 XC3S1500 芯片。该芯片提供 74880 个逻辑单元, 包含 633 个 I/O 管脚, 可以直接处理 LVDS、RSDS 等 8 种不同的信号, 支持 DDR2 内存, 其最高总线速度为 333 Mbps。

在图像数据预处理电路中, 由于目标的紫外辐射较弱, 焦平面的输出信号较小。为了增加探测距离和探测精度, 本文用集成运放 AD827 对原始模拟信号进行放大, 并通过 π 型滤波电路进行滤波, 可以有效抑制背景噪声和提高信噪比。在数字化电路中, A/D 芯片采用 12 位 25 Msps 的 AD9225, D/A 采用 TI 公司的 DAC902。此外, 为了便于目标观察和瞄准, 相机中还增加了可见光通道, 采用 500 万像素的 MT9P001 芯片。最后, 通过 FPGA 对图像数据进行匹配和融合, 采用 8 in TFT-LCD 触摸屏进行图像显示。所有模块用 12 V 锂电池供电。通过设置外部按钮来调节增益大小和积分时间的长短。图 5 为紫外相机的外观图, 其总重量为 3 kg, 功耗为 20 W。



图 5 紫外相机的外观图

2 成像实验

为了能够较全面地评估相机的各项指标, 我们分别对紫外灭蚊灯和变压器电晕放电进行了成像实验, 相关结果见图 6。可以看出, 在可见光通道, 相机成像清晰明了, 非常便于目标的观察和瞄准; 在紫外通道, 相机能够成功获取目标图像, 而且背景中基本没有紫外辐射干扰, 目标辨识度很高。同时, 在电晕放电成像实验中, 还可以根据图像的亮度准确判断出放电位置以及放电的强弱。此外, 进一步的实验结果表明, 相机充电一次就能够持续工作 6 h 以上; 在探测距离为 50 m 时, 其紫外辐射灵敏度达到 10^{-16} W/cm²。

3 结束语

本文全面介绍了一种高性能便携式电晕放电检测紫外相机的设计方案, 详细描述了相机



图 6 紫外相机的成像图

(下转第 46 页)