

雪地伪装检测紫外成像设备的设计与实现

田英慧¹, 赵志勇¹, 张健¹, 崔志刚², 冯海潮¹

(1. 32184 部队, 北京 100093; 2. 中国通用技术研究院, 北京 100192)

摘要: 紫外成像设备是雪地伪装效果检测评估的常用设备。根据雪地伪装试验实际需求, 结合现代成像技术, 设计和实现了一套结构紧凑、低功耗、高灵敏度、高分辨率、快捷便携的雪地伪装检测紫外成像设备。通过实验验证表明, 其具有良好的实用性和可靠性。

关键词: 雪地; 伪装检测; 紫外成像设备

中国分类号: E951.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2018)12-1149-06

Design and Implementation of a UV Imaging Equipment for Snow Camouflage Detection

TIAN Yinghui¹, ZHAO Zhiyong¹, ZHANG Jian¹, CUI Zhigang², FENG Haichao¹

(1. The Army of 32184, Beijing 100093, China; 2. China General Technology Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: Using ultraviolet imaging equipment is common for snow camouflage detection and evaluation. Based on the actual demand for such a detection system, modern imaging technology along with ultraviolet imaging equipment is used to design and implement a compact structure with features such as low power consumption, high sensitivity, resolution, and speed; and portability. The experimental results show that it has good practicability and reliability.

Key words: snow field, camouflage detection, ultraviolet imaging equipment

0 引言

雪地伪装装备是通过模拟雪地的紫外波段高反射率来实现良好的雪地伪装。现阶段, 紫外波段伪装检测与评价是采用主观和客观两种方式进行: 客观上, 实验室检测雪地型伪装装备制作材料的白度和紫外波段光谱反射率(两个指标); 主观上, 野外使用紫外成像设备拍摄目标区域(目标与背景)照片, 判读人员再进行判读, 判断目标与背景的融合程度。可见, 紫外成像设备模拟了对雪地伪装装备的实际侦察。

本领域紫外成像设备的关键技术也是研制高灵敏度、低噪声的紫外探测器。目前, 已投入商用的紫外探测器主要包括紫外真空二极管、紫外光电倍增管、紫外增强器、紫外摄像管和固体紫外探测器等。近些年, 用宽禁带半导体材料实现对紫外辐射探测成为紫外探测器研究的一个重要领域。特别是 AlGaN 材料, 禁带宽度为 3.4~6.2 eV 可调, 由该材料制成的探测器可根据实际需要调整截止波长的范围(200~

365 nm), 从而实现真正的目盲^[1]。目前, AlGaN 基目盲紫外探测器的研究已取得阶段性进展, 但材料的研究还面临很多困难: 缺少晶格匹配的衬底, 使薄膜中存在大量缺陷; 由于 Al 原子和 Ga 原子的迁移率不同, 随 Al 摩尔比率的增加, 造成组分不均一; p 型掺杂质量较低。这些因素严重制约着器件性能。总体来说, 固态紫外探测器还没进入大规模的实用化阶段, 现阶段使用的紫外探测器还是以真空探测器为主^[2]。

紫外探测技术在大多数领域采用数字化成像器件或采用紫外像增强器耦合 CCD(或 CMOS)构成 ICCD(或 ICMOS)的方式, 其中, 紫外像增强器是目前成像型紫外探测使用最广泛的紫外探测器件。

为更好地开展雪地伪装试验, 满足对紫外成像设备可实时采集清晰的紫外图像, 观察记录于一体、高灵敏度、高分辨率、实用和可靠的要求, 本文研究确定了紫外成像设备的技术性能指标、组成及其原理, 采用像管直耦技术, 选定满足要求且性价比高的器件, 将高性能紫外像增强器和数码相机图像传感器 CMOS 直接耦合成一体, 设计和实现了基于直耦技术

的一种新型雪地伪装检测紫外成像设备，并通过对雪地背景和白色伪装材料紫外图像拍摄和测试进行了验证。

1 指标设计

1) 光谱谱段

自然界中，紫外辐射主要来源于太阳，太阳的辐射能量主要集中在红外波段、可见光波段以及紫外波段3个波段内，紫外辐射能量只占到总能量的16%，其中250~390 nm波段的紫外辐射能量占总能量的14%。由于大气吸收，真正到达地面的紫外辐射能量就更弱，且主要波段在300~390 nm^[3-5]。考虑到现有紫外成像设备工艺及技术可行性的问题，本文设计和实现的雪地伪装检测紫外成像设备在330~380 nm谱段。

2) 视场角

紫外伪装效果检测中，一般要求目标在拍摄的图像中占1/9左右，根据实验需要，实验对象最大的目标一般不超过15 m×5 m，因此，背景可近似看成45 m×15 m。如果要在200 m处能观察到45 m的物体，则镜头视场角 $2\omega=2\arctan(0.5(45^2+15^2)^{1/2}/200)=13.6^\circ$ 。最小的目标一般约为0.25 m×0.25 m大小，若目标占拍摄图像1/9左右，背景可看成0.5 m×0.5 m，即在1.5 m处能观察到0.5 m长的物体，则视场角 $2\omega=2\arctan(0.5\times0.75\times2^{1/2}/1.5)=39.0^\circ$ 。根据目前市场上可以采购到的紫外镜头，确定近距离拍摄视场角是40.0°，远距离拍摄视场角是17.0°。

3) 温度适应性

由于该设备的实际使用场合多为冬季雪地环境，

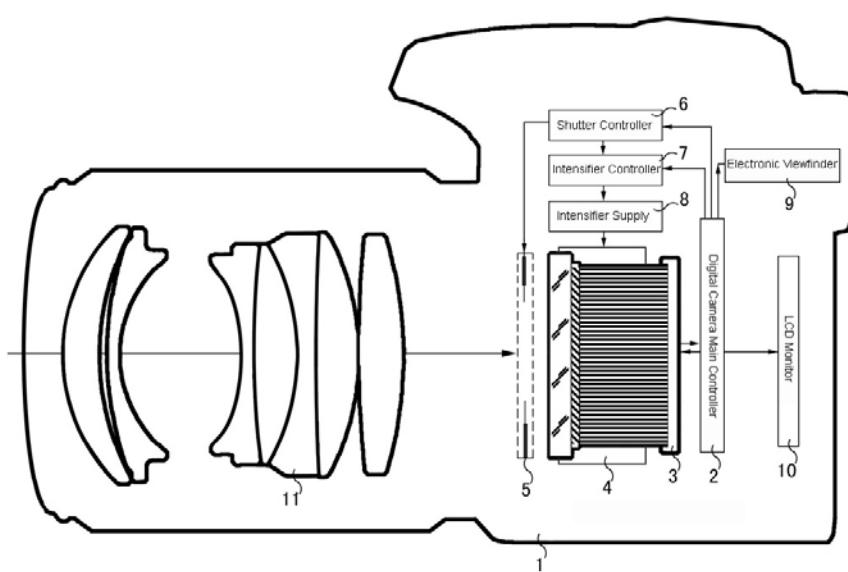
兼顾其他应用场合，要求在-20℃~+50℃环境下能够正常工作。

2 方案设计

紫外成像设备结构示意图如图1所示，包括：1、数码相机机身；2、相机主控电路；3、CMOS图像传感器；4、像增强器；5、相机快门；6、快门控制电路；7、像管控制电路；8、像管高压电源；9、电子取景器；10、液晶监视器；11、镜头等。其中，像增强器具有光纤面板输出屏，光纤面板输出屏直接与图像传感器CMOS耦合，用于将像增强器输出面上的像传递到数码相机图像传感器CMOS上。相机快门用于精确控制像管直耦增强数码相机的曝光时间。同步控制也可以以光机电的方式来实现。为实现紫外成像功能，镜头使用满足实际需求的紫外镜头，同时在紫外镜头的前端安装紫外带通滤光片，与紫外像增强器共同保证紫外波段的选通，实现在330~380 nm成像。

2.1 相机机身

紫外成像设备是在野外雪地背景下使用，雪地强反射，使拍摄者在太阳光下不易对目标物对焦。故而选用具有电子取景器的相机进行改装。优选具有较大尺寸的图像传感器，可得到较高的图像质量。成像器件一般有CCD和CMOS，但在极端恶劣环境（低温条件）下，由于CMOS图像传感器的集成度高，相比于CCD图像传感器，其焊接数较小，可靠性更好^[6]，且在相同环境下，CMOS的功耗较低。根据目前市场产品情况，综合考虑使用技术要求、改装制作工艺、成本等，确定选用CMOS传感器微单相机机身。



Note: 1. Digital camera body 2. Digital camera controller 3. Image sensor CMOS 4. Image intensifier 5. Camera shutter 6. Shutter controller 7. Intensifier controller 8. Intensifier supply 9. Electronic viewfinder 10. LCD monitor 11. Object lens

图1 紫外成像设备的结构示意图

Fig.1 Structure diagram of ultraviolet imaging equipment

2.2 镜头选定

镜头的作用是在紫外波段将视场内的目标物成像在像增强器的光阴极上, 并且可以保持呈现清晰的像。因为紫外波段光能量占太阳光总能量的比重很小, 这就要求镜头能够尽可能地收集紫外辐射能量, 所以, 镜头尽可能选择大光圈型号。

通过本文第1章中关于雪地伪装检测紫外成像设备视场角的计算, 再经过市场调研和比对, 选择两款镜头, 一种用于近距离拍摄的广角紫外镜头 25 mm $f/2.8$, 视场角 40° , 滤镜尺寸 25.5 mm; 另一种用于远距离拍摄的中焦紫外镜头 60 mm, $f/1.7$ (如图 2 所示), 视场角 17° , 滤镜尺寸 55 mm。



图 2 中焦紫外镜头 60 mm, $f/1.7$

Fig.2 Medium focus ultraviolet lens 60 mm, $f/1.7$

2.3 滤光片

滤光片的效果是改变光的强度或光谱组成。在本文中, 需要将目标在特定波长成像, 因此在成像之前要滤除不必要的光谱带。性能参数主要需考虑和依据透光的谱段范围、平均透过率、截止深度和截止波长等几个因素。对于透过率, 当然希望是越高越好; 截止深度的指标也是希望至少有 OD4(Optical density), 越高的截止深度越好。综合技术现状和我们使用的实际情况以及性价比等因素, 制作了适合两种镜头使用, 不同直径大小的中心波长为 340 nm、352 nm、365 nm、380 nm 共 4 种紫外滤光片(如图 3 所示), 半波宽为 $10 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$, 响应光谱曲线如图 4~图 7 所示。



图 3 4 种紫外滤光片

Fig.3 4 kinds of four ultraviolet filters

2.4 紫外像增强器

选用了双近贴聚焦式像增强器, 输入窗是能透紫外能量的石英玻璃, 纤维面板作为输出窗。其主要部

件包括 S25 多碱光阴极、微通道板、镀铝荧光屏, 整体电源由内装振荡器和倍压器组成。图 8 为紫外像增强器的实物图。

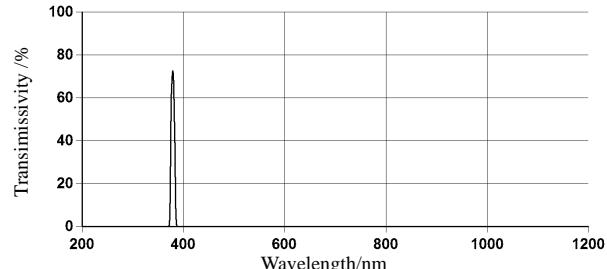


图 4 380 nm 滤光片的光谱响应曲线

Fig.4 380 nm spectral response curve of the filter

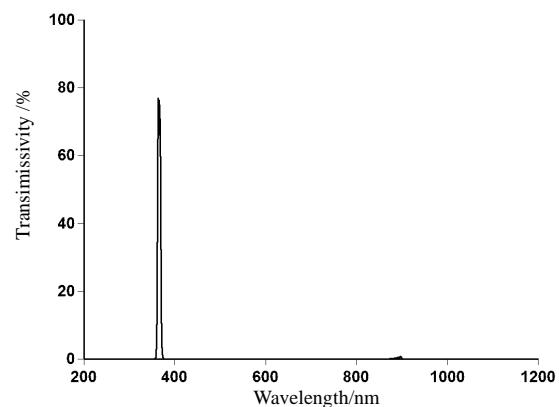


图 5 365 nm 滤光片的光谱响应曲线

Fig.5 365 nm spectral response curve

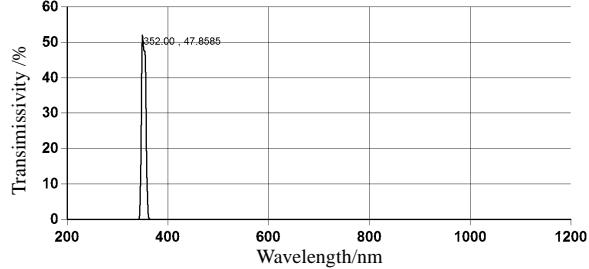


图 6 352 nm 滤光片的光谱响应曲线

Fig.6 352 nm spectral response curve of the filter

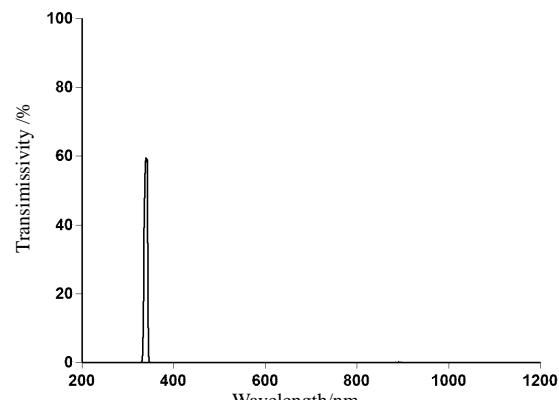


图 7 340 nm 滤光片的光谱响应曲线

Fig.7 340 nm spectral response curve of the filter



图 8 紫外像增强器

Fig.8 Ultraviolet image intensifier

2.5 像管耦合

像管与 CMOS 耦合方式如图 9 所示。根据本文的任务需求，并综合考虑野外雪地伪装检测试验工作的需要，像管的耦合方式选用通光效率高、使用方便、成像质量高的直耦技术。像管直耦是将像增强器的光纤面板输出屏直接与所述图像传感器 CMOS 耦合，用于将像增强器输出面上的像传递到数码相机图像传感器 CMOS 上，直耦组件如图 10 所示。

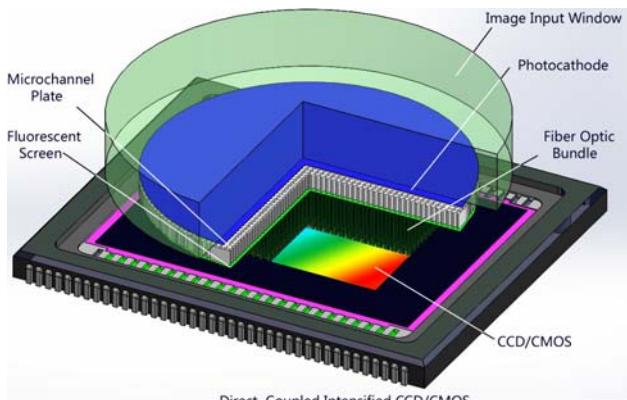


图 9 像管直耦示意图

Fig.9 Three types of image tube coupling



图 10 直耦组件图

Fig.10 Direct coupled component diagram

2.6 组装步骤及关键技术

成套设备如图 11 所示，组装后如图 12 所示。组装环节的关键步骤是像管直耦，在 CMOS 和像增强器的耦合过程中采用耦合盲对准贴放，从而保证耦合的高效性。另外，CMOS 是光敏元有规律分布的离散阵

列，像增强器输出面的光学纤维面板也是有规律分布的离散阵列，两者离散程度均比较明显，因此，耦合过程中，容易产生周期重叠现象，形成莫尔条纹，严重影响图像质量。本文尝试在实际操作中调整两者之间的角度，寻找出使莫尔条纹最小化的耦合角度。



图 11 紫外成像设备各器件及组成

Fig.11 Components of the ultraviolet imaging equipment



图 12 紫外成像设备外观图

Fig.12 Appearance diagram of the ultraviolet imaging equipment

3 实验验证

3.1 图像分辨率测试

为测试紫外成像设备的图像分辨率。按照 CIPA 标准 DC-003 (2003) 《数码相机分辨率的测量方法》，采用 ISO12233 《摄影-电子照相画面-衡量方法》中的视觉分辨率的测量方法和条件对紫外成像设备进行图像分辨率测试，对拍摄的 ISO 图表进行视觉评估，记录紫外成像设备的分辨率。

实验结果如图 13 所示，结果表明，水平方向 J1、K1，垂直方向 J2、K2，倾斜 45° 方向 JD、KD 的视觉分辨率均不低于 1000TV Line，满足近、远距离紫外图像拍摄的分辨率要求。

3.2 温度适应性测试

为检测该设备的工作温度指标是否合格，在不同温度环境下测试其功能，先在室温 (16°C) 条件下测试设备的功能，然后将其置于恒温箱 (50°C) 中 8 h，再加电开机测试，能正常工作；将其置于恒温箱 (-20°C) 中 8 h，再加电开机测试，设备能正常工作。实验结果表明，温度适应性满足指标设计要求。

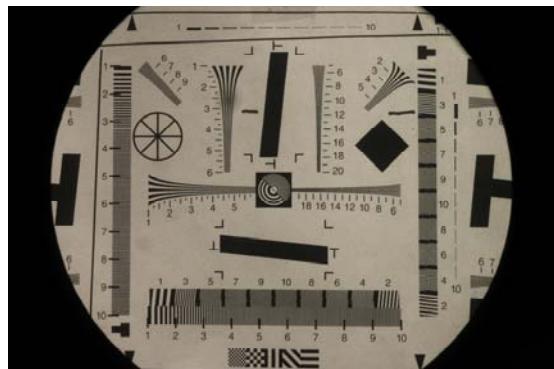


图 13 实测静态图像分辨率图

Fig.13 Measured static image resolution

3.3 响应波长范围测试

检测设备的响应波长范围指标是否合格。在 25 mm、60 mm 两种镜头上, 分别使用 340 nm、352 nm、365 nm、380 nm 4 个中心波长滤光片, 近距离、远距

离拍摄紫外图像, 成像清晰。

3.4 野外拍摄实验

为检验紫外成像设备的实用性和可靠性。选取 11 月份东北(哈尔滨)的陈雪(新雪后一周左右)作为背景实验对象。选用白纸(1#); 白棉布(2#); 设计制备 4 种不同紫外反射率的白色伪装样品, 依次编号为 3#、4#、5#、6#, 作为实验样品。对样品进行可见光和紫外图像拍摄。

垂直拍摄, 相机距离雪地背景及样品的垂直距离约为 1.5 m。紫外: 镜头为 25 mm 焦距; 曝光参数: A 档(光圈优先); 光圈: 5.6。可见光: 50 mm 焦距, 光圈优先。拍摄了可见光图片(如图 14 所示), 330~380 nm 波长范围内的紫外图片, 其中 365 nm 中心波长滤光片的紫外照片如图 15 所示。

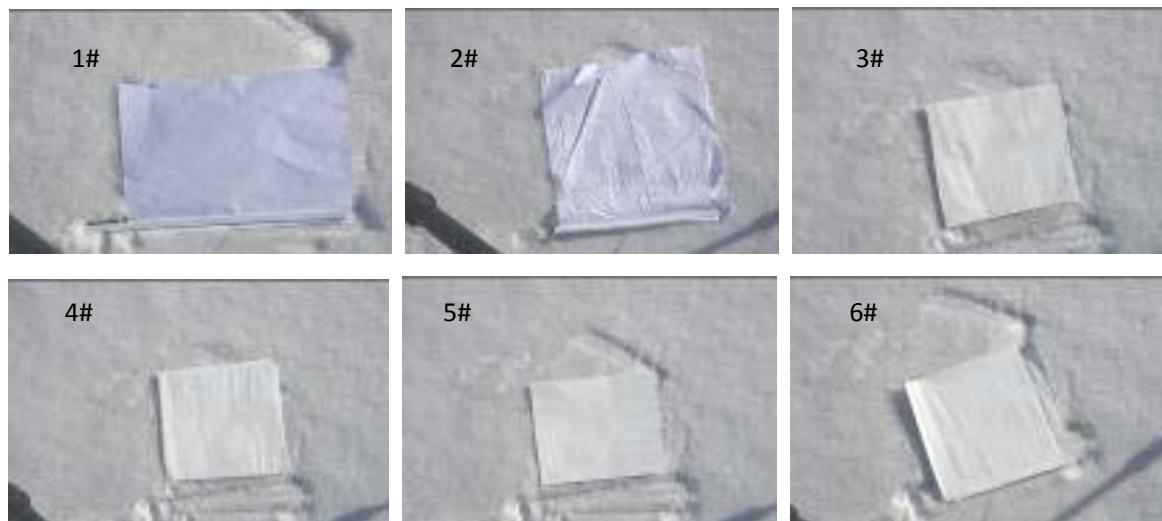


图 14 样品与雪地背景的可见光图片

Fig.14 Visible images of the sample and snow background

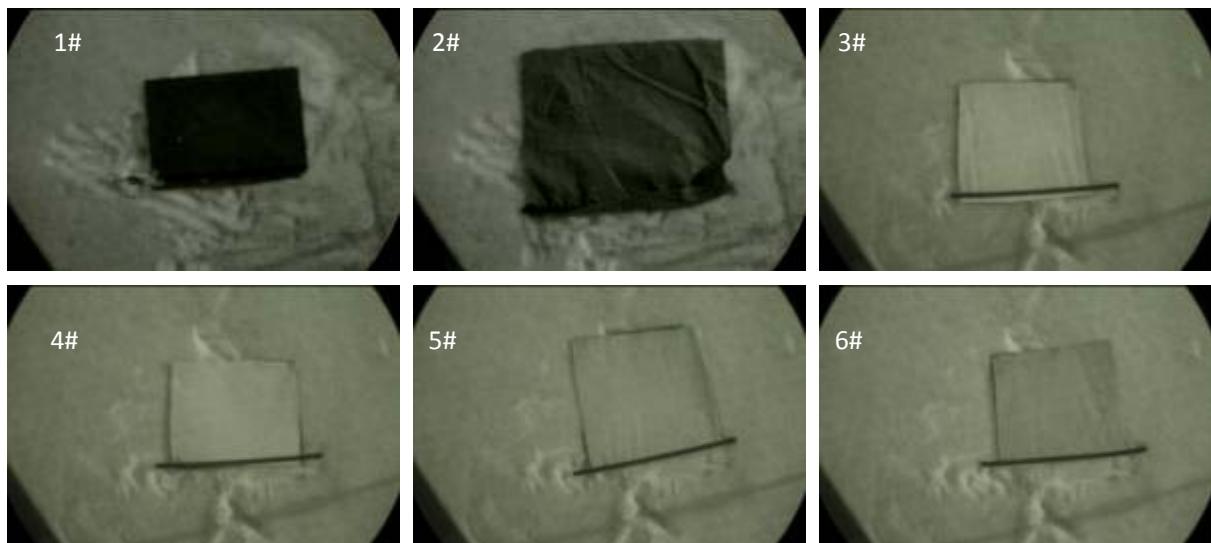


图 15 样品与雪地背景的紫外图片(365 nm 中心波长滤光片)

Fig.15 Ultraviolet image of the sample with snow background (365 nm central wavelength filter)

实验结果表明：通过可见光和紫外图片的对比可看出，研制的紫外成像设备能直观检测出白色伪装材料与样品1#白纸、样品2#白棉布的差别；25 mm广角镜头视野大，可对1.5 m处目标进行拍摄，成像清晰；60 mm中焦紫外镜头，可对200 m内的目标进行拍摄，成像清晰；机身具有电子取景器，便于野外强光下观察和对焦；相机转接环、镜头安装更换方便；体积小、重量轻（约为900 g）；野外便携、使用方便；另外，此次测试紫外相机使用一块充满电的电池可在-20℃~-15℃环境下连续工作时间 ≥ 2.5 h，满足冬季野外测试要求。

4 结论

本文根据实际工作需求，结合当前的光电成像技术，设计和实现了一套适用于野外雪地伪装检测的紫外成像设备，经测试和实验，达到了设计指标和使用要求，具有良好的实用性和可靠性，填补了该领域的空白，为雪地型伪装装备的性能检测提供了手段。

参考文献：

[1] 石峰. 紫外探测技术[M]. 北京：国防工业出版社，2017.

SHI Feng. *Ultraviolet Detection Technology*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2017.

- [2] 刘万金，胡小燕，喻松林. GaN 基紫外探测器发展概况[J]. 激光与红外, 2012, 42(11): 1210-1214.
- [3] LIU Wanjin, HU Xiaoyan, YU Songlin. Development of GaN based UV detectors[J]. *Laser and infrared*, 42(11): 1210-1214.
- [4] 李慧瑞. 新型紫外探测器及应用[J]. 光电子技术, 2000, 20(1): 45-51.
- [5] LI Huirui. New UV detectors and their applications[J]. *Optoelectronic Technology*, 2000, 20(1): 45-51.
- [6] 白建辉，王庚辰. 太阳辐射因子的变化对太阳紫外辐射的影响[J]. 气象, 1995, 21(9): 3-6.
- [7] BAI Jianhui, WANG Gengchen. Influence of solar radiation factor on solar ultraviolet radiation[J]. *Meteorological*, 1995, 21(9): 3-6.
- [8] Trakhovsky E. Contribution of oxygen to attenuation in the solar blind UV spectral region[J]. *Applied Optics*, 1989, 28(8): 1588.
- [9] 王峰，洪津，乔延利，等. 基于CMOS图像传感器的微型偏振成像遥感器研究[J]. 半导体光电, 2007, 28(4): 586.
- [10] WANG Feng, HONG Jian, QIAO Yanli, et al. Remote sensing research of micro polarization imaging based on CMOS image sensor[J]. *Semiconductor Photoelectricity*, 2007, 28(4): 586.