

邢志文, 贾锦华, 王桢旸, 等. 基于物联网技术的智能紫外消杀监测系统[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(10): 82-88.
DOI: 10.20169/j. issn. 2095-2163. 251012

基于物联网技术的智能紫外消杀监测系统

邢志文^{1,2}, 贾锦华¹, 王桢旸¹, 吴凡¹, 胡海争^{1,2}, 王顺利^{1,2}

(1 浙江理工大学 浙江省光场调控技术重点实验室, 杭州 310018; 2 浙江理工大学 常山研究院有限公司, 浙江 衢州 324200)

摘要: 基于物联网技术,设计了一套智能紫外消杀监测系统,旨在提高国内公共区域卫生消毒效率。系统由感知控制层、网络传输层和应用服务层构成,利用 Ga_2O_3 基柔性自供电光电探测器进行数据采集,BC26多任务操作系统处理、传输数据,并通过网络传输层将数据发送至云服务器。应用服务层负责数据存储、分析及可视化处理。该系统实现了灭菌消毒的实时化、自动化、可视化管理,有效保障公众健康安全。

关键词: 物联网; 紫外消杀监测系统; 光电探测器; 网络传输层; 云服务器

中图分类号: TP277 文献标志码: A 文章编号: 2095-2163(2025)10-0082-07

Intelligent ultraviolet disinfection monitoring system based on IoT (Internet of Things) technology

XING Zhiwen^{1,2}, JIA Jinhua¹, WANG Zhenyang¹, WU Fan¹, HU Haizheng^{1,2}, WANG Shunli^{1,2}

(1 Key Laboratory of Optical Field Manipulation of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2 Zhejiang Sci-Tech University Changshan Research Institute Co., Ltd., Quzhou 324200, Zhejiang, China)

Abstract: Based on IoT technology, a smart ultraviolet disinfection monitoring system is designed to improve the efficiency of public area hygiene and disinfection in China. The system consists of a perception and control layer, a network transmission layer, and an application service layer. Ga_2O_3 -based flexible self-powered photodetector is used for data acquisition, BC26 multi-task operating system is used to process and transmit data, and send data to cloud server through network transmission layer. The application service layer is responsible for data storage, analysis, and visualization processing. This system achieves real-time, automated, and visualized management of sterilization and disinfection, effectively ensuring public health and safety.

Key words: IoT; ultraviolet disinfection monitoring system; photodetectors; network transmission layer; cloud server

0 引言

紫外线位于电磁波谱中 10~400 nm 的位置,可以细分为真空紫外线(UVU)、深紫外线(UVC)、中紫外线(UVB)以及近紫外线(UVA)。其中,波长为 200~280 nm 的紫外线被称为深紫外线,大气层中臭氧层对该波段有吸收和散射作用,使得这一波段的光无法到达地球表面,又被称为“日盲紫外线”^[1-2]。由于不受太阳光背景干扰,日盲深紫外探测器具备全天候工作能力,高灵敏度和低虚警率的特点使其成为当下研究的热点和焦点。

经研究表明,深紫外线可以有效破坏细菌、病毒

等微生物的核酸,使生物体丧失蛋白质的合成和繁殖能力,从而达到消杀的效果^[3]。由于其具有效果理想、无二次污染、安全环保等优点,广泛应用于医院、食堂、学校等公共场所。但是,在使用过程中,紫外灯管辐照强度会逐渐降低,对消杀效果产生重要影响。若辐照强度或剂量不足,就无法有效杀灭细菌病毒。因此,在卫生监测领域对深紫外线辐照强度的监测则尤显重要。

随着互联网技术的广泛应用和无线通信技术日益成熟,物联网正成为下一代互联网的演化方向^[4-5]。现阶段正是物联网高速发展时期,众多企业纷纷涌入围联网赛道,相继开发自己物联网云平

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY20F040005); 浙江理工大学科研启动基金(20062224-Y)。

作者简介: 邢志文(1996—),男,硕士研究生,主要研究方向:光器件,嵌入式和物联网。

通信作者: 王顺利(1984—),男,教授,硕士生导师,主要研究方向:宽禁带半导体的材料生长、日盲探测器制备及应用等研究。Email: slwang@zstu.edu.cn。

收稿日期: 2024-01-12

台以及各领域的应用^[6-7]。在众多物联网应用中, 智慧监测系统备受关注。研究指出未来卫生监测领域将会与先进物联网技术相结合, 建立起信息高度共享化的卫生监测管理系统^[8]。

基于上述问题, 本系统采用最新物联网技术, 设计并实现一套紫外消杀监测系统。BC26 无线通信模组作为紫外监测节点的主控微控制单元 (Microcontroller Unit, MCU), 完成对 Ga_2O_3 光电探测器电信号的读取、发送。采用窄带物联网 (Narrow Band Internet of Things, NB-IoT) 组网^[9] 和 4G 转发方式, 实现对终端紫外线数据远程监测与配置, 通过云服务器对监测数据进行计算、存储, 通过 Web 端与用户进行可视化交互。

1 系统设计

本系统总体框架按照经典物联网架构分为 3 层网络拓扑, 如图 1 所示, 分别为: 感知控制层、网络传输层、应用服务层。

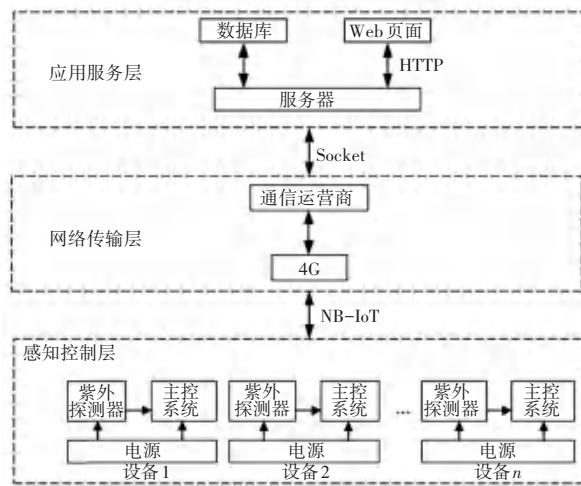


图 1 系统整体架构

Fig. 1 Overall system architecture

感知控制层是以 Open CPU 为控制核心^[10], 采用 Ga_2O_3 基柔性自供电光电探测器实现紫外辐射信息采集, 主控芯片实现发送数据和接受指令功能; 网络传输层采用低功耗广域网络传输方式^[11], 遵守标准数据通信协议, 并依赖运营商基站实现安全联网, 以确保通信的准确性及可靠性, 适用于物联网设备的大规模连接。应用服务层依托阿里云服务器搭建的运行环境^[12], 采用前后端分离系统架构, 后端服务器负责网络端口监听, 处理传输层发送的数据, 并存储至数据库中。Web 界面绘制图表, 动态形象地将后端服务器处理的监测数据展示给用户^[13]。

1.1 感知控制层设计

感知控制层包括终端执行单元和紫外信息采集单元, 其作为系统最底层, 是监测紫外数据最重要的环节。近年来, Ga_2O_3 日盲光电探测器因其高灵敏度和低虚警率备受专家学者的关注, 市场上日盲紫外探测器普遍存在高损耗、高成本、低集成等问题, 并不能恰当应用于紫外监测系统中。因此, 本文需自行设计日盲紫外探测器, 满足低损耗、高集成、传输稳定的系统需求。

紫外信息采集单元, 即 Ga_2O_3 基柔性自供电光电探测器, 在柔性玻璃纤维布衬底上原位生长 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 纳米线, 用刀片刮开部分 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 纳米线露出底部金属, 在纳米线上滴覆 Ag 电极作为上电极, Ga 作为底部电极。Ag 电极与 $\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 纳米线成肖特基接触。基于此, 形成了基于 $\text{Ag}/\beta - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 肖特基结纳米线的柔性自供电日盲深紫外光电探测器^[14]。

终端执行单元主要以基于 MTK 平台开发的 BC26 无线通信模组为核心, 连接 Ga_2O_3 基柔性自供电光电探测器构成的紫外监测电路, 实现紫外数据处理、向服务器传输数据及远程参数配置的功能。BC26 引脚分布如图 2 所示。

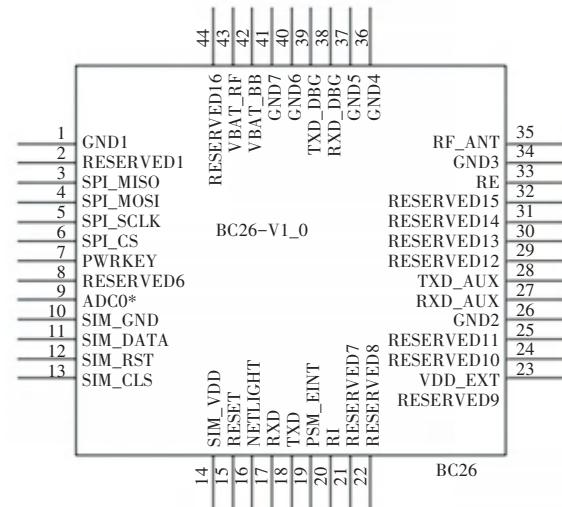


图 2 BC26 引脚分布图

Fig. 2 BC26 pin distribution diagram

硬件部分主要由 2 个模块组成: 信号处理模块、通信控制模块。

Ga_2O_3 基柔性自供电光电探测器对特定日盲紫外波长产生微弱电流, 经过运算放大电路输出至指定模拟数字转换器 (Analog to Digital Converter, ADC) 通道^[15], 见图 3。

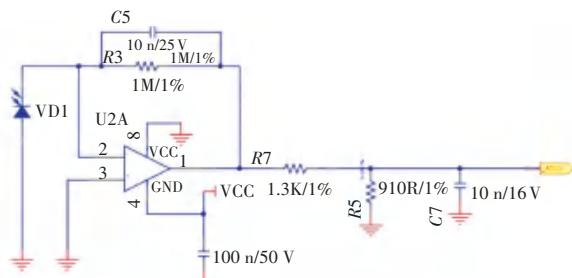


图 3 运算放大电路图

Fig. 3 Operation magnification circuit diagram

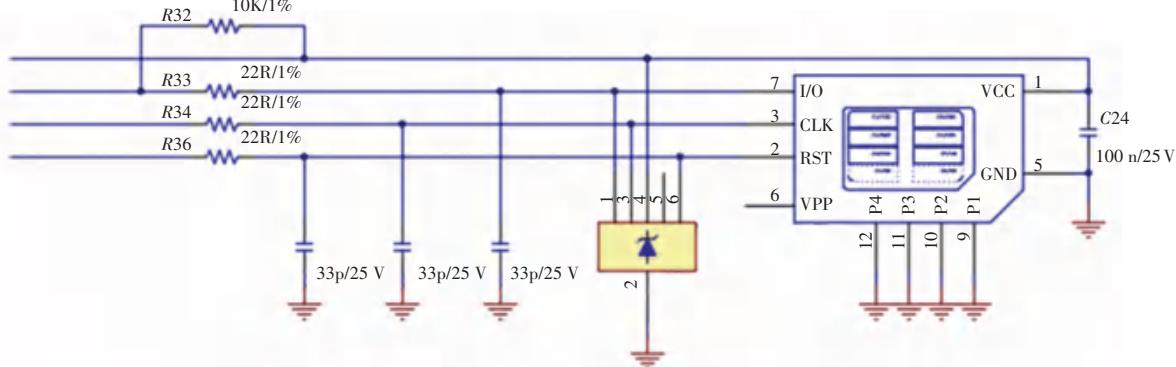


图 4 SIM 卡电路图

Fig. 4 Circuit diagram of SIM card

终端软件设计基于 BC26 通信模组, 支持 Open CPU 功能, 能够准确、高效地采集、处理、传输数据。嵌入式软件设计需求是通过 Ga_2O_3 基柔性自供电光电探测器实时监测紫外线数据, 将数据存储至 Flash, 并通过用户数据报协议 (User Datagram Protocol, UDP) 将设备信息及监测紫外数据发送至云平台^[17]。终端系统的主流程如图 5 所示。

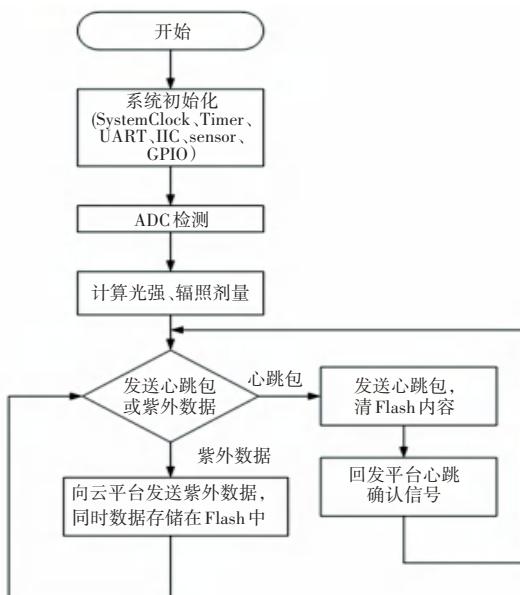


图 5 嵌入式系统主流程

Fig. 5 Main flowchart of embedded system

BC26 模组中采用移动贴片 M2M-SIM 实现 NB-IoT 模组和云平台连接功能, BC26 模组中用户识别卡 (Subscriber Identity Module, SIM) 引脚连接 SIM 贴片卡, SIM_RST、SIM_CLK、SIM_DATE 串联 3 个 22R 电阻, 并联 33pF 电容用于滤除射频干扰, 贴片 SIM 的 GND 引脚与 BC26 模组的 GND 并入一起, 避免了电路漏电导致设备损坏的可能^[16]。贴片 SIM 设计电路见图 4。

设备上电, 系统模块初始化, ADC 模块采集数据, 通过拟合方程计算光强, 光强积分计算当前周期辐照剂量。终端和云平台自规定通信数据格式: 设备码, 电流, 光强, 辐照剂量; 心跳包格式: 设备码, TAKEHEART。BC26 通信模组将紫外数据、设备信息发送至指定服务器, 同时 Flash 存储紫外数据, 由于 BC26 的 Flash 只有 4 K 字节^[18], 导致 Flash 可存储数据量非常有限, 当设备和云平台通过心跳包握手成功, 证明监测数据已发送至云平台, 并存储于数据库中, 此时可以覆盖并重写 Flash, 确保数据不会丢失。

1.2 网络传输层

网络传输层采用 UDP, 通过 CMD 指令绑定服务器 IP 及 PORT。表 1 为 CMD 指令表。

表 1 CMD 指令表

Table 1 CMD instruction table

CMD 指令	功能
SET, IP0:121.199.63.63;	设置 IP0
SET, IP0:121.199.63.63;	设置 IP1
SET, PORT:8001;	设置端口
SET, RATE:10000;	设置采用频率
READ, IP0;	读取 IP0
READ, IP1;	读取 IP1
READ, PORT;	读取端口
RESET;	重置设置
RESTART;	重启
READ, FLASH:0..20;	读取 Flash 0~20 字节

1.3 应用服务层

应用服务层, 即云平台软件设计, 需要综合考虑云服务器、后端程序、前端程序等多个方面, 以实现安全、高效、稳定的云平台服务。云服务器是云环境的基础设施, 提供计算、存储、网络服务等功能, 后端程序是云平台中的核心部分, 前端程序用来与用户交互。

1.3.1 云服务器

云服务器是云环境的基础设施, 是一种虚拟化的计算机资源^[19], 紫外消杀监测系统将部署在阿里云服务器, 所选用云服务器基本配置见表 2。配置安全组规则, 开放 8002 端口作为 UDP 传输协议端口, 8001 作为紫外消杀监测系统 Web 端口。

表 2 云服务器基本配置

Table 2 Basic configuration of cloud server

性能参数	操作系统	CPU 核数	内存/GB	带宽/Mbps
配置	CentOS 7.5 64 位	1 核	2	1

1.3.2 后端程序及前端页面

后端程序是云平台应用的核心组成部分, 主要包括数据库管理系统、接口调用、应用程序框架、性能优化和安全防护。智能紫外消杀监测系统采用 SpringBoot 框架, 便于快速开发、运行 Spring 程序^[20]。后端程序使用 IntelliJ IDEA 集成开发环境, 该软件方便配置 Maven, 通过配置 pom. xml 文件统一管理远程库中下载的 jar 包。采用 MySQL 数据库对数据进行管理^[21], 并采用 Navicat 软件对数据库进行管理, 这是一款简便数据库管理工具。采用 Netty 网络应用框架, 其异步、事件驱动的网络编程模型能够处理大量并发连接, 同时保持低延迟和高吞吐量^[22]。

前端软件采用 Vue2 框架, 负责界面制作、渲染、用户信息交互以及与后端接口信息交互^[23]。Node. js 为运行环境提供高效事件驱动机制和异步编程模型, 便于处理大量并发请求, 此外紫外消杀监测系统还采用了 WebSocket 技术, 实现了实时紫外数据的推送和更新, 提高了系统的实时性和可用性^[24]。

前端总共设计了 6 个页面: 项目全景页面、产品介绍页面、实时光强监测页面、紫外数据管理页面、设备管理页面和设备组管理页面, Web 界面操作功能接口见表 3。这里将展开分述如下。

(1) 项目全景展示页面: 用户登录监测系统后, 可以查看各组设备在线信息、各设备近 7 日辐照剂量统计、本月紫外消杀合格情况统计表。

(2) 产品介绍页面: 通过图文并茂的方式直观

展示了智能紫外消杀监测系统, 包括 Ga_2O_3 基柔性自供电光电探测器图片、产品参数及监测系统的操作流程, 通过具体应用案例分析, 阐明智能紫外消杀监测系统必要性, 让客户全面了解该监测系统的功能和重要性。

(3) 实时光强监测页面: 选好监测设备, 将监测的紫外光强通过折线图加以实时展示。

(4) 紫外数据管理页面: 选好监测设备, 默认将该设备所有数据以时间倒序展示, 也可以设定查询时间区间, 倒序展示设备监测信息。

(5) 设备管理页面: 可以查看所有设备详细信息, 包括设备名称、设备 ID、设备安装地址、设备在线状态等, 同时可以对已添加设备进行修改, 也可以新增或删除设备。

(6) 设备组管理页面: 查看所有设备组信息, 新增、修改、删除设备组, 绑定或解绑已添加设备到设备组。

表 3 API 接口

Table 3 API interface

API 接口	说明
GET:/uv/msg/during/info	查询紫外消杀数据
GET:/uv/check/month/info	查询近一个月消杀合格情况
GET:/uv/machine/get/all/machineinfo	查询设备信息
POST:/uv/machine/add/machine	添加设备
POST:/uv/machine/bind/machinewithgroup	绑定设备
POST:/uv/machine/update/machine	修改设备
POST:/uv/machine/delete/machine	删除设备
POST:/uv/group/add/group	新增设备组
POST:/uv/group/update/group	修改设备组
POST:/uv/group/delete/group	删除设备组
GET:/uv/group/get/all/groupinfo	查看所有设备组信息
POST:/uv/admin/add	新增用户
POST:/uv/admin/delete	删除用户
POST:/uv/admin/login	用户登录
POST:/uv/admin/update	修改用户

2 系统测试

在图 6 中展示 Ga_2O_3 基柔性自供电探测器的实物图, 该探测器部署在实验室紫外消杀灯管附近, 并与市面上成熟的高精度紫外探测仪器进行了对照实验, 具体实验位置参见图 7。



图 6 探测器实物图

Fig. 6 Physical picture of the detector

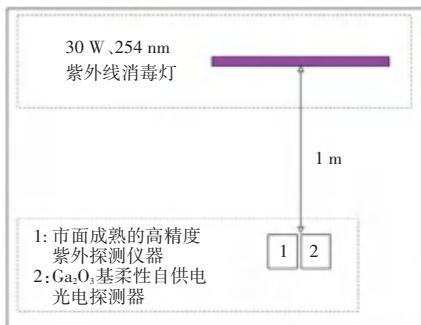


图 7 实验设备位置

Fig. 7 Location of experimental equipment

设备上电后,通过串口助手读取设备信息,然后设置发送端的 IP 地址和端口,设置设备每隔 1 s 发送一次数据。在 Web 端,添加设备详细信息,并将设备绑定至相应的设备组中。图 8 展示了串口读取的监测数据,图 9 通过折线图实时展示紫外线强度变化。图 10 是设备管理界面,图 11 是监测紫外线数据界面,图 12 是该设备每日消杀合格情况的统计界面。

```
[17:12:02.256] 收->●460081136307026,514,514,0,257,00
[17:12:03.256] 收->●460081136307026,509,509,0,253,00
[17:12:04.256] 收->●460081136307026,505,505,0,252,50
[17:12:05.256] 收->●460081136307026,502,502,0,251,00
[17:12:06.256] 收->●460081136307026,505,505,0,252,50
[17:12:07.256] 收->●460081136307026,504,504,0,252,00
[17:12:08.256] 收->●460081136307026,505,505,0,252,50
[17:12:09.256] 收->●460081136307026,505,505,0,252,50
[17:12:10.256] 收->●460081136307026,507,507,0,253,50
[17:12:11.256] 收->●460081136307026,506,506,0,253,00
[17:12:12.256] 收->●460081136307026,504,504,0,254,00
[17:12:13.256] 收->●460081136307026,509,509,0,254,50
[17:12:14.256] 收->●460081136307026,509,509,0,254,50
```

图 8 串口数据界面图

Fig. 8 Serial port data interface diagram

实时光强 (uW/cm²) 紫外光强折线图

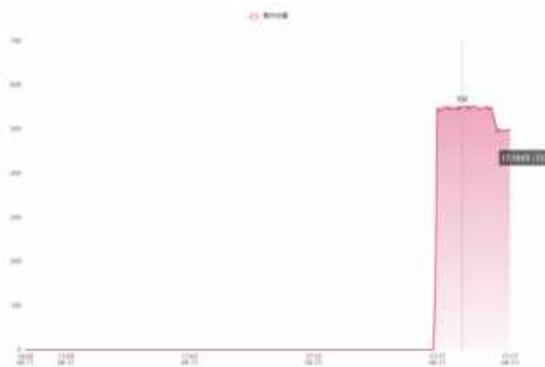


图 9 云平台实时光强动态图

Fig. 9 Real - time optical intensity dynamic graph of cloud platform

添加设备					
设备ID	设备名称	设备Msisdn	安装位置	设备状态	操作
460081136306043	东阳11号	1440913636043	东阳县	在线	修改 删除
460081136306045	理工楼探测120教室2号机器	1440913636045	浙江理工大学理工楼120	在线	修改 删除
460081136306061	东阳7号	1440913636061	东阳县	在线	修改 删除
460081136306062	新华幼儿园试点2号	1440913636062	下沙新华幼儿园	在线	修改 删除
460081136306063	东阳3号	1440913636063	东阳县	在线	修改 删除
460081136307025	探测2号	1000000000001	浙江省金华市金东区多湖街道	在线	修改 删除
460081136307026	紫外探测器	1440913637026	浙江理工大学	在线	修改 删除
460081136307037	东阳1号	1440913637037	东阳县	在线	修改 删除

图 10 设备管理界面

Fig. 10 Device management interface

采集时间	采集设备	所在位置	当前电流(uA)	辐射强度(uW/cm ²)	辐射剂量(uJ/cm ²)	接收时间
2023-08-10 00:00:00 至 2023-08-12 00:00:00	紫外探测器	浙江理工大学	2	0	0	2023-08-11 17:26:18
	紫外探测器	浙江理工大学	2	0	0	2023-08-11 17:26:17
	紫外探测器	浙江理工大学	497	497	248.5	2023-08-11 17:26:16
	紫外探测器	浙江理工大学	499	499	249.5	2023-08-11 17:26:15
	紫外探测器	浙江理工大学	499	499	249.5	2023-08-11 17:26:14
	紫外探测器	浙江理工大学	500	500	250	2023-08-11 17:26:13
	紫外探测器	浙江理工大学	496	496	248	2023-08-11 17:26:12

图 11 监测数据界面图

Fig. 11 Diagram of monitoring data interface



图 12 每日消杀合格情况

Fig. 12 Daily kill qualified situation

3 结束语

本文旨在设计一种针对国内公共区域卫生消毒的紫外消杀监测系统。本文基于物联网技术, 搭建一套智能紫外消杀监测系统, 通过感知控制层、网络传输层和应用服务层完成紫外信号采集、处理、传输、存储、分析、可视化等功能, 实现对紫外线杀菌方式实时监测, 能够及时发现紫外消杀过程中存在的问题, 确保消杀效果最大化, 从而提高公共区域的消杀效率和卫生水平。

本研究已在幼儿园和电影院等公共场所进行了试点, 结果表明该系统能有效提高紫外线消毒杀菌效果, 可为智能紫外消杀监测技术的发展提供了新思路, 保障公众健康和安全做出了重要贡献。该系统具有广阔的使用前景, 对于加快健康城市和智慧中国的建设具有积极的促进作用。

参考文献

- [1] 郭道友, 李培刚, 陈政委, 等. 超宽禁带半导体 β -Ga₂O₃ 及深紫外透明电极、日盲探测器的研究进展 [J]. 物理学报, 2019, 68 (7): 7-42.
- [2] WU C, HE C, GUO D, et al. Vertical α / β -Ga₂O₃ phase junction

nanorods array with graphene - silver nanowire hybrid conductive electrode for high - performance self - powered solar - blind photodetectors [J]. Materials Today Physics, 2020, 12: 100193.

- [3] 曹小兵, 陈磊, 冉崇高, 等. 紫外线杀菌产品在消毒杀菌领域的应用研究 [J]. 中国照明电器, 2020(4): 10-14.
- [4] 朱婧玮. 基于物联网的智能农业环境监控系统软件设计 [J]. 智慧农业导刊, 2023, 3(13): 5-8.
- [5] 李中阳. 基于 NB-IoT 的智慧燃气物联网系统框架设计与研究 [J]. 自动化仪表, 2023, 44(5): 102-106.
- [6] 甘新, 冯准, 梁艳. 物联网远程环境监测系统设计与实现 [J]. 信息记录材料, 2023, 24(5): 237-239.
- [7] 黄达辉, 钟伟华, 于欣宁. 基于物联网平台的智慧医疗系统应用研究 [J]. 现代医院, 2023, 23(4): 622-625.
- [8] 孟成伟. 一种基于物联网的公共卫生消杀监管系统的设计及应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [9] 秦钰林, 周若麟, 张珂欣, 等. 基于 NB-IoT 窄带通信和多传感器组网技术的森林火灾监测预警系统 [J]. 物联网技术, 2020, 10 (6): 14-16.
- [10] 顾明, 黄强, 周明. MCU+OpenCPU 架构的车载 T-BOX 开发方案 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021, 21(4): 49-51.
- [11] 陈宏铭, 张克非, 陆斌, 等. 物联网低功耗广域网络技术及芯片综述 [J]. 中国集成电路, 2022, 31(3): 12-25.
- [12] 赵丹丹, 李红. 基于 STM32 的远程厨房安全系统设计 [J]. 电子产品世界, 2021, 28(11): 74-76.
- [13] 庞嵩昊, 李盈, 赵艺, 等. 基于 Vue 和 SpringBoot 前后端分离的宠物服务系统的设计与实现 [J]. 电脑知识与技术, 2023, 19 (21): 42-45.
- [14] 邢志文, 常裕鑫, 张晓龙, 等. 一种柔性自供电 Ga₂O₃ 基日盲光

- 电探测器的设计及性能研究[J]. 光电子·激光,2022,33(11):1127-1133.
- [15]李龙洲,周碧英,张鹏. 基于 AT89C52 的低频信号发生器设计[J]. 电子设计工程,2018,26(15):142-147.
- [16]岳雪楠. 大气环境在线监测系统的研究与设计[D]. 天津:天津职业技术师范大学,2023.
- [17]张书绘. 基于 QT 的智能无人战车人机交互软件设计[D]. 盐城:盐城工学院,2023.
- [18]胡永. 嵌入式设备中基于 NAND Flash 的文件系统设计和优化[D]. 北京:北京交通大学,2013.
- [19]张志成. 基于云端物联网的家庭植物栽培控制系统设计[D]. 银川:北方民族大学,2020.
- [20]汪涛. 基于 SpringBoot 和人脸识别的企业考勤管理系统设计与实现[D]. 阜阳:阜阳师范大学,2023.
- [21]狄丹. 基于 MySQL 协议的数据库运维代理的设计与实现[D]. 北京:华北电力大学(北京),2023.
- [22]庞子皓. 基于 Netty 与 Kafka 的物联网数据采集平台的设计与实现[D]. 南京:南京邮电大学,2023.
- [23]徐鹏涛. 基于 Vue 的前端开发框架的设计与实现[D]. 济南:山东大学,2020.
- [24]陈瑶. 基于 Node.js 高并发 web 系统的研究与应用[D]. 成都:电子科技大学,2016.