
СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2024.3.312193>

УФ-ФОТОДЕТЕКТОРНИЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВІ ТОНКОПЛІВКОВОГО ОКСИДУ ЦИНКУ

I. В. Падалка, I. С. Вірт

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, факультет фізики,
математики, економіки та інноваційних технологій,
вул. Івана Франка, 24, Дрогобич, Україна;
Email: ivan.padalka@dspu.edu.ua, isvirt@dspu.edu.ua

УФ-ФОТОДЕТЕКТОРНИЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВІ ТОНКОПЛІВКОВОГО ОКСИДУ ЦИНКУ

I. V. Padalka, I. S. Virt

Анотація. Проведено аналіз роботи створеного фотодетекторного модуля ультрафіолетового (УФ) випромінювання на основі гетероструктури оксид-цинку/кремній. Розроблено та тестовано бездротову онлайн-мережу фотодетектора УФ-випромінювання, яка здатна надавати дані в режимі реального часу. Сконфігуровано протокол Wi-Fi з максимізацією просторового покриття і з високою пропускну здатністю для досягнення вимог моніторингу випромінювання. Доступність інформації з низькою затримкою робить систему моніторингу достатнім інструментом для широкого спектру керування фотоелектричними системами.

Ключові слова: гетероструктура, оксид цинку, ультрафіолетове випромінювання, фотодетекторний модуль, сенсорна мережа

UV PHOTODETECTOR MODULE BASED ON THIN FILM ZINC OXIDE

I. V. Padalka, I. S. Virt

Abstract. An analysis of the work of the created photodetector module for ultraviolet (UV) radiation based on the zinc oxide/silicon heterostructure was carried out. A wireless online UV photodetector network capable of providing real-time data has been developed and tested. The Wi-Fi protocol is configured to maximize spatial coverage and have high bandwidth to meet radiation monitoring requirements. The availability of low-latency information makes the monitoring system a sufficient tool for a wide range of photovoltaic system control.

Keywords: heterostructure, zinc oxide, ultraviolet radiation, photodetector module, sensor network

© I. В. Падалка, I. С. Вірт, 2024

Вступ

Поява сенсорних систем, які використовують ультрафіолетові показники джерел випромінювання, наприклад ракетних загроз, визначає потребу в проектуванні, розробці ультрафіолетових пристроїв середовища для моніторингу, їх тестування та інтеграцію у сенсорні системи. Багато приймачів ультрафіолетового попередження про ракетні напади (Missile approach warning system -MAW), які зараз розробляються різними фірмами, є частиною інтегрованих мультисенсорних систем авіоники. Використання, наприклад JR (інфрачервоного), випромінювання дозволяє застосувати значну частину технології JR-HWJL (hardware-in-the-loop) до проблеми UV-HWJL. Однак існує ряд значних відмінностей у феноменології, які необхідно враховувати при використанні та моделюванні пристроїв УФ. Технологія HWJL при підтримці архітектури RISS (Імітатор платформи в реальному часі) дає важливу інформацію про розробку та перевірку симуляції систем у реальному часі та достовірність феноменологічних моделей і наявність значного набору польових даних. На жаль, використання ультрафіолетового спектру для попередження про ракети є відносно недавнім технологічним прогресом. Через відносну незрілість УФ-розробок, баз даних і характеристик є область високого ризику в розширенні можливостей JR-HWJL до УФ-використання платформ у реальному часі.

Компоненти точної симуляції УФ-середовища визначаються характеристиками датчика та відповідними природними та штучними характеристиками в спектральній області його чутливості. У разі УФ-приймачів попередження про рухомі об'єкти (використовують певні ключові ультрафіолетові феноменологічні елементи для забезпечення адекватного виявлення потенційних ракетних загроз MWR). Зокрема, УФ-MWR працюють у частині УФ-спектру, який називається «сонячно сліпим» (від 200 нм до 400 нм). У цьому діапазоні УФ-випромінювання єдиним значним природнього джерела, сонця, майже повністю

поглинається атмосферним озоном (зокрема високогірним). Те невелике сонячне освітлення, яке доступне, є розсіяним, створюючи майже однорідний фон неба. Випромінювання шлейфу літака (або ракети) має явні характеристики, які стають дослідницькою тематикою виявлення та розпізнавання цілей [1–4]. Згідно з теорією випромінювання абсолютно чорного тіла основний пік спектральної енергії випромінювання шлейфу високошвидкісного літака знаходиться в інфрачервоному діапазоні, однак у міру підвищення температури факела концентрована енергія випромінювання переміщується в бік ультрафіолетового діапазону. Поряд з цим, у шлейфі літака є значна кількість молекул газу (таких як NO та OH), які мають очевидні характеристики випромінювання в УФ-діапазоні [5]. Ультрафіолетова система у порівнянні з інфрачервоною системою виявлення має деякі переваги, зокрема це: невеликий розмір, ефективний режим реального часу, чисте фонове середовище та простота досягнення високої роздільної здатності виявлення. Тому в останні роки дослідження характеристик ультрафіолетового випромінювання шлейфу літаків швидко розвиваються. У працях [5,6] змодельовані характеристики ультрафіолетового випромінювання в шлейфі ракети з змінними даними польоту, і показано що УФ-випромінювання шлейфу на низькій висоті є достатнім для забезпечення сигналу, який може бути виявлений УФ-детектором.

Системи моніторингу УФ-випромінювання ефективно виконують завдання, для яких вони були запроектовані. Однак, щоб підтримувати реальні рішення для фотоелектричних систем, мережі датчиків випромінювання повинні бути розроблені з різними специфікаціями. По-перше, вони повинні мати можливість отримувати та передавати дані в реальному або майже реальному часі. По-друге, вартість інфраструктури має бути економічно обґрунтованою. Це обмежує вартість мережі моніторингу порівняно з фотоелектричною системою, як зазначено в [7]. У цьому сенсі, хоча дротові мережі кращі з точки зору затримки, надійності

та швидкості передачі даних, вони мають недоліки у складності розгортання, вищих витратах і меншій гнучкості для додавання нових пристроїв або переміщення існуючих. Так, період дискретизації 100 мс «достатній для виявлення навіть найшвидших явищ, пов'язаних з виробництвом електроенергії фотоелектричними установками», що є частотою дискретизації, застосованою в наступних дослідженнях на основі цієї мережі. Знову ж таки, це розгортання з передовими пристроями, складною інфраструктурою та надлишковою продуктивністю виправдано дослідницькими цілями. Таким чином, бездротова конфігурація, яка реалізує звичайні пристрої та відповідає необхідним специфікаціям вимірювання, здається більш практичним і економічно ефективним рішенням для реальних застосувань.

У науковій літературі досить мало прикладів бездротових сенсорних мереж випромінювання WSN (Wireless sensor networks - WSN) із конкретними характеристиками. Існують спеціальні дослідження щодо дизайну вузлів для детекції випромінювання WSN [8], хоча в цих дослідженнях жодна мережа не конкретизується. В інших роботах оцінюється потенціал онлайн-моніторингу WSN у регіональному масштабі [9,10], але з урахуванням тимчасової роздільної здатності, не адаптованої до подій впливу хмар. У [9] описано розробку фотovoltaїчного пристрою WSN, що складається з 10 піранометрів, але використаний 5-хвилинний період вибірки не є достатнім для роботи з фотоелектричними сигналами. Головним чином WSN характеристики визначають бездротові протоколи, зокрема протокол зв'язку є фундаментальним елементом, який визначає дизайн і характеристики WSN. Оскільки цей WSN спрямований на підтримку додатків прогнозування поточної ситуації для широкого діапазону фотоелектричних систем, процес проектування направлений на досягнення високої пропускної здатності та максимально можливого просторового покриття з розумним споживанням енергії та економічними витратами.

I. Результати роботи та обробка даних

I.1. Бездротовий протокол фотоелектронної системи

Пропускна здатність визначає кількість даних, які можуть бути передані в мережі за одиницю часу, таким чином, є обмеженням для максимальної кількості бітів для певної частоти дискретизації. У цьому сенсі вибраний бездротовий протокол має на меті забезпечити максимальну універсальність у кількості частинок у WSN та досягній частоті дискретизації. З іншого боку, максимізація покриття має забезпечити підключення до великої зони з використанням мінімальної кількості дротових частин, наприклад, мережевих пристроїв, які вимагатимуть дротового підключення до локальної мережі (LAN).

Пристрій ESP32 – це надійний мікроконтролер із багатьма портами введення/виведення. Зокрема, він містить два 12-розрядних мультиплексованих аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) для загальної кількості 18 каналів. ADC1 під'єднано до восьми контактів вхід/вихід (general-purpose input/output - GPIO) від 32 до 39. ADC2 під'єднано до 10 GPIO (0, 2, 4, 12–15 і 25–27). Існують деякі обмеження щодо використання ADC2, при активному трансивері WiFi. Оскільки більшість програм підтримують Wi-Fi, найкраще використовувати ADC1. 12-бітна роздільна здатність АЦП відображає вхідну напругу від 0 до 3,3 В постійного струму на значення байтів від 0 до 4095. Слід зазначити, АЦП-перетворювачі мають нелінійні характеристики. Існує нижня порогова напруга приблизно 130 мВ до ресстрації АЦП. Співвідношення вольт/біт вище 2,5 В відхиляється від майже лінійного співвідношення між цими двома областями.

I.2. УФ фотодетекторний пристрій

Для зчитування даних з УФ фотодетектора на основі оксиду цинку [10] було використано платформу ESP32 та аналого-цифровий підсилювач ADS 1115. Завдяки такому поєднанню мікросхем вдалося досягти високої точності зчитування даних та достатньої швидкодії.

Мікроконтролер ESP32 використано для збирання даних з фотодетектора та їх обробки. Його виводи SCL та SDA з'єднані з відповідними виводами аналогово-цифрового підсилювача ADS1115 (рис. 1). Принципову схему під'єднання мікроконтролера приведено на (рис. 2), зокрема представлено процес інтерфейсу 16-розрядного модуля АЦП ADS1115 з ESP32. 16-бітний АЦП ADS1115 виводами VDD і GND під'єднаний до DC живлення (3.3V), а виводи AIN0-AIN3 використано для під'єднання фотоструктури. Виводи SCL і SDA підсилювача з'єднані з відповідними виводами на ESP32 для передачі реєстрованих даних. Вивід ADDR підключений до GND для встановлення адреси I2C. Компонентна плата ADS1115 – це аналого-цифровий перетворювач (АЦП) високої роздільної здатності, який можна використовувати з різними мікроконтролерами, включаючи Arduino, STM32 і ESP8266/32. Зокрема, ESP32 – це надійний мікроконтролер із вбудованими можливостями Wi-Fi та Bluetooth, що робить його ідеальним вибором для додатків Internet of Things (IoT). ESP32 має вбудований 12-розрядний АЦП, який забезпечує вищу роздільну здатність, ніж 10-розрядний АЦП на платах Arduino. Найменша напруга, яку може виміряти ESP32, становить $3,3 \text{ В} / 4096 = 0,0008 \text{ В}$ (0,8 мВ), тоді як ADS1115 може виміряти $5\text{В}/65536 = 0,000076 \text{ В}$ (76 мкВ). Це робить ADS1115 достатньо точним пристроєм для точних вимірювань напруги. Для більших точностей до 0,3 мкВ, можна застосувати 24-розрядний модуль АЦП ADS1220. Пристрій ADS1115 під'єднується до ESP32, для налаштування зв'язку I2C при написанні коду для читання та обробки аналогових сигналів за допомогою Arduino IDE.

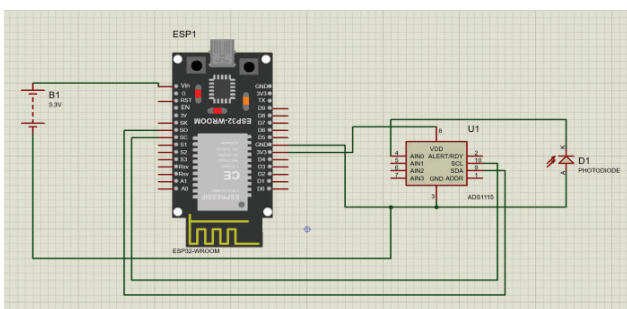


Рис. 1. Під'єднання мікроконтролера ESP32, підсилювача та фотоструктури.

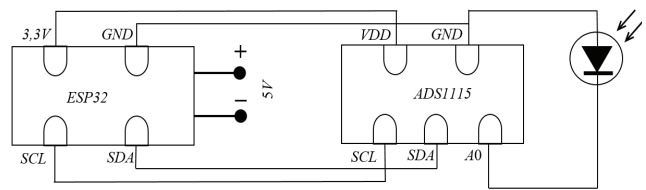


Рис. 2. Принципова схема ADS1115 мікроконтролера ESP32, підсилювача та фотоструктури.

Виводи і точність мікросхеми АЦП ESP32:

- Виводи: ESP32 мають два АЦП, це ADC1 і ADC2, із загальною кількістю доступних 18 каналів. Він має кілька контактів АЦП, які можна використовувати для вимірювання аналогових сигналів і перетворення їх у цифрові значення. АЦП ESP32 – це потужний мікроконтролер із вбудованими можливостями Wi-Fi та Bluetooth. АЦП1 має 8 каналів (від GPIO32 до GPIO39). АЦП2 має 10 каналів (GPIO0, GPIO2, GPIO4, GPIO12 - GPIO15 і GPIO25 - GPIO27)

- Точність: АЦП ESP32 мають роздільну здатність 12 біт, тобто вони можуть представляти аналоговий сигнал за допомогою 4096 дискретних рівнів. Однак через внутрішній шум і нелінійні характеристики ефективна роздільна здатність ESP32 зазвичай становить близько 10-11 біт.

Встановлення адреси I2C ADS1115: АЦП на ADS1115 передбачає встановлення адреси для I2C шини за допомогою замикання виводу ADDR на цифрові сигнальні виводи, або виводи шини живлення. Встановлення різних адрес I2C призначена для того, щоб при під'єднанні двох і більше різних пристроїв не відбувалося конфлікту між ними.

II. Аналіз даних та дискусія

УФ фотоструктура, яка працює у режимі фотодіода, реєструє УФ випромінювання і генерує аналоговий сигнал [10]. Катод фотодіода під'єднаний до виводу AIN0 на ADS1115, а анод - до загальної клеми GND системи. Джерело живлення забезпечує напругу 3.3V, необхідну для роботи всіх компонентів схеми. Схе-

ма дозволяє зчитувати дані з фотоструктури, перетворювати їх на цифрові сигнали за допомогою ADS1115 та передавати на ESP32 для подальшої обробки та аналізу (рис. 3).

Програмування пристрою ESP32 здійснене мовою С. На мікроконтролері ESP32 роз-

горнуто веб-сервер, який дозволяє виводити графічний результат зі значень фотоструктури в режимі реального часу. Це дозволяє переглядати та аналізувати дані, зібрані фотоструктурою, через веб-браузер (рис. 4). Веб-сервер приймає сигнали з фотопристрою, обробляє їх

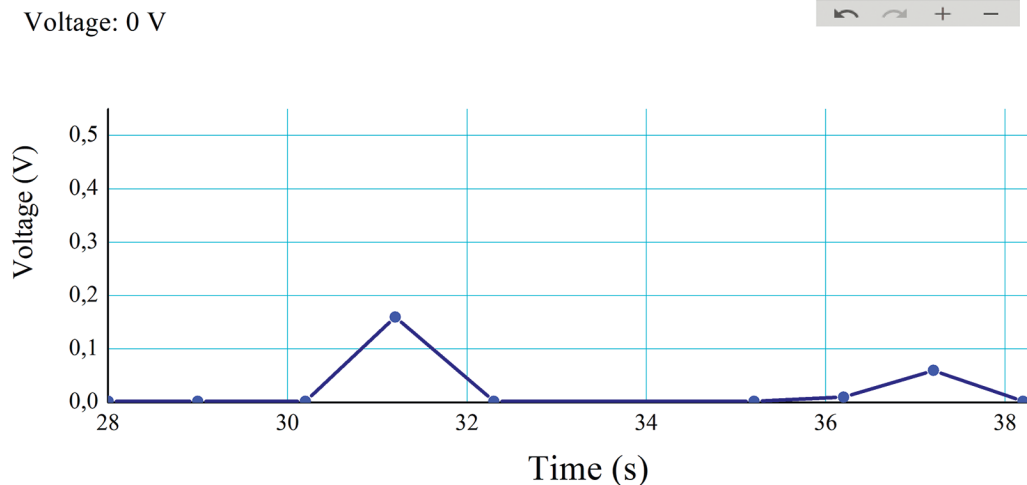


Рис. 3. Вікно програми значень напруги сигналу(вісь Y) на веб-сервері у часовій розгортці (по осі X - час у секундах).

та генерує графічні дані, які відображаються на веб-сторінці, що доступна через локальну мережу або інтернет.

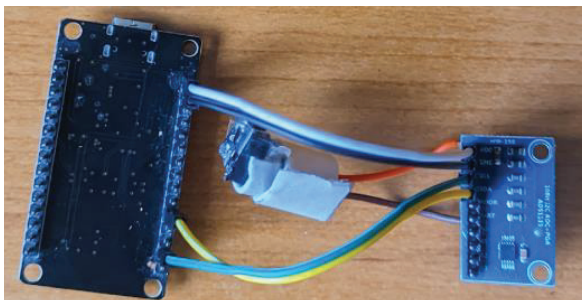


Рис. 4. Зображення компонентів УФ фотомодуля.

Код написано з використанням платформи Arduino IDE з додатковим встановленням відповідних бібліотек для самої ESP32 та підсилювача. Даний код створює веб-сервер та сторінку на базі ESP32, що дозволяє переглядати значення напруги з фотоструктури в реальному часі через веб-браузер. ESP32 під'єднується до заданої Wi-Fi мережі з використанням імені мережі (SSID) та пароллю. Після

підключення до Wi-Fi, ESP32 запускає веб-сервер на порту 80. При відкритті основної сторінки веб-сервера, ADS1115 зчитує аналогове значення сигналу з фотоструктури, перетворює його та відображає на веб-сторінці. Графічні дані на веб-сторінці оновлюються у реальному часі щосекунди. Код також обробляє запити до шляху «/data» і надає поточні дані напруги в форматі JSON. В кінці циклу обробки, ESP32 також виводить значення напруги на серійну консоль для налагодження.

ESP32 зчитує сигнал з фотодіода не на пряму, а з використанням підсилювача. Код використовує бібліотеки для роботи з аналогово-цифровим підсилювачем ADS1115 і налаштовує його для зчитування даних з датчика. Спочатку іде ініціалізація серійного порту для виводу даних та ініціалізація I2C інтерфейсу з вказанням пінів 21 і 22. Після цього ініціалізується ADS1115 і налаштовується діапазон підсилення до +/- 6.144V. Якщо ініціалізація ADS1115 проходить успішно, код зчитує дані з каналу A0, переводить значення з ADC у вольти і передає є їх на веб-сторінку. Код також

перевіряє чи зчитане значення є максимальним і виводить попередження, якщо це так. Основний цикл програми повторює ці дії з заданим інтервалом зчитування.

Перед підключенням фотодетектора на основі ZnO проведено зчитування даних, використовуючи заводський кремнієвий детектор [11]. Переконавшись в коректності його роботи було здійснено пошук робочого діапазону підсилення для датчику. ADS1115 має декілька таких діапазонів, і в залежності від вибору конкретного може залежати роздільна здатність пристрою. Слід зазначити що ADS1115 являє собою не тільки аналоговий підсилювач, а ще і виконує функцію перетворення аналогового сигналу в цифровий. Це дозволяє зменшити вплив шумів на результуючий сигнал, якщо все перетворення виконується в одній мікросхемі.

Перетворення сигналу в ADS1115 починається з того, що аналоговий сигнал подається на один з його вхідних каналів. Внутрішній аналогово-цифровий перетворювач (ADC) конвертує цей аналоговий сигнал у 16-бітне цифрове значення. Це цифрове значення представляє рівень вхідного сигналу відносно діапазону підсилення, який налаштований на початку калібрування [12]. Калібрування модуля здійснено порівнюючи значення з промисловим кремнієвим фотодіодом та розробкою (рис. 5).

```
AIN0: 17625 (ADC Value), 3.304688 V (Voltage after gain)
AIN0: 15636 (ADC Value), 2.931750 V (Voltage after gain)
AIN0: 13990 (ADC Value), 2.623125 V (Voltage after gain)
AIN0: 13562 (ADC Value), 2.542875 V (Voltage after gain)
AIN0: 11611 (ADC Value), 2.177063 V (Voltage after gain)
AIN0: 11434 (ADC Value), 2.143875 V (Voltage after gain)
AIN0: 11507 (ADC Value), 2.157562 V (Voltage after gain)
AIN0: 11614 (ADC Value), 2.177625 V (Voltage after gain)
```

Рис. 5. Калібрування підсилювача ADS1115.

Діапазон підсилення встановлювали на +/- 6.144V, і цій напрузі відповідало 16-бітне значення. Кожен біт цифрового значення від-

повідає певному еквіваленту напруги. Для діапазону +/- 6.144V біт еквівалентний дискрету напруги 0.1875 мВ. Для отримання значення аналогового сигналу виконано добуток цифрового значення зчитаного з ADC на число 0.0001875. Результатом є вихідна напруга в вольтах, що відповідає вхідному аналоговому сигналу.

Для реєстрації УФ-випромінювання у фотопристрої на основі оксиду цинку виконано додаткове регулювання підсилення [13,14]. Для цього використано діапазон +/- 0.256V. Це дозволило зчитати близько 32000 значень у вибраному діапазоні сигналу. Виходячи з того, що напруга, яку генерує УФ-детектор не перевищує 0.2В то даний діапазон підходить оптимально, оскільки роздільна здатність є найбільшою. ADS1115 має також декілька режимів швидкості зчитування даних. Найшвидший режим це 860 1/с.

Подальша робота з пристроєм на основі мікроконтролера ESP32 може покращити розроблений WSN шляхом заміни зовнішнього джерела живлення на компактну фотоелектричну панель і акумуляторну батарею для забезпечення повністю автономних бездротових функцій. Дані, зібрані WSN, можна використовувати для застосування алгоритмів оцінки руху об'єктів, методів поточного прогнозування та того, як спільні мережі радіаційного випромінювання можуть покращити характеристики прогнозування.

Висновки

У даному дослідженні йдеться про розробку та тестування бездротової онлайн-мережі датчиків випромінювання, здатної надавати дані в режимі реального часу для підтримки роботи фотоелектричних систем і поточного прогнозу. Протокол Wi-Fi було обрано з метою максимізації просторового покриття з достатньою пропускну здатністю для досягнення оптимальних вимог дослідницьких мереж моніторингу опромінення, Одночасно це забезпечує гнучкість для додавання нових об'єктів або просторового переміщення існуючих без економічного впливу.

Розроблена бездротова мережа довела свою здатність досягати періодів вибірки з хорошою координацією та низьким коефіцієнтом втрат пакетів. Доступність цієї інформації з низькою затримкою робить цю систему моніторингу важливим інструментом для широкого спектру керування фотоелектричними системами та майбутніх досліджень. На стороні сервера зразки мають хорошу поведінку протягом періоду вибірки 25 мс із хорошою стабільністю, що вважається достатнім для виявлення найшвидшого очікуваного явища випромінювання. Згідно з проведеним випробуванням і результатами, розроблений WSN здатний досягати характеристик, порівнянних із сучасною мережею моніторингу опромінення з перевагами у вартості бездротової технології.

Список використаної літератури

- [1]. James, M. Richardson, E. O’Keefe Comparison of empirical and predicted UV aircraft signatures// Proc. SPIE, “Technologies for Optical Countermeasures”, 10797, 107970G, pp. 1–20 (2018).
- [2]. D. Zhang, L. Bai Effects of alumina particle clusters on UV radiation signature in the aircraft plume // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 252(107082), pp. 1–10 (2020).
- [3]. C. Lavigne, G. Durand, A. Roblin Ultraviolet light propagation under low visibility atmospheric conditions and its application to aircraft landing aid // Applied Optics, 45(36), pp. 9140–9150 (2006).
- [4]. I. James, Ma. Richardson, E. O’Keefe Comparison of empirical and predicted ultraviolet aircraft signatures // Proc. SPIE, "Optical Engineering", 58(2), 025103, pp. 1–13 (2019).
- [5]. R. H. Giza, P. A. Acevedo, J. D. Bliss Ultraviolet scene simulation for missile approach warning system testing // Proc. SPIE, 3084, 0277–786X, pp. 282–291 (1997).
- [6]. T. Perkins, R. Sundberga, J. Cordellb, Z. Tunb, M. Owen Real-time target motion animation for missile warning system testing// Proc. SPIE, “Technologies for Synthetic Environments”, 6208, 62080E, pp. 1–12 (2006).
- [7]. M. J. Espinosa-Gavira, A. Agüera-Pérez, J. M. Sierra-Fernández, J. J. González de la-Rosa, J. C. Palomares-Salas, O. Florencias-Oliveros Design and Test of a High-Performance Wireless Sensor Network for Irradiance Monitoring //Sensors, 22(2928), p. 1–18, (2022).
- [8]. J. S. Botero-Valencia, M. Mejia-Herrera Modular system for UV-vis-NIR radiation measurement with wireless communication//HardwareX, 10(e00236), pp. 1–15 (2021).
- [9]. A. Pal EPIC-RoofNet: A Sensor Network Testbed for Solar Irradiance Measurement and Analysis// In Proceedings of the 2020 16th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, Marina del Rey, USA, 25–27 May 2020; pp. 147–150 (2020).
- [10]. W. Jondra, N. Sunaya, G. P. Arka, I. Putra, W. Sudiarsa, M. Purbhawa Programmable Camera Module as a Distance Viewing of Live Power Line 20 KV-Hand Robotic// Proceedings of the International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science, iCAST-ES2023, pp. 57–68 (2023).
- [11]. G. Casse New trends in silicon detector technology// Journal of Instrumentation, Volume 15, pp. 1–10 (2020).
- [12]. W. Yang, J. Chen, Y. Zhang, Y. Zhang, J.-H. He, X. Fang Silicon-Compatible Photodetectors: Trends to Monolithically Integrate Photosensors with Chip Technology // Adv. Funct. Mater., 29 (1808182), pp.1–17, (2019).
- [13]. S. K. Jasim, A. M. Shano, S. K. Adnan. Zinc Oxide Poly Crystals Heterojunction and Infrared- Blind UV-Photodetector // Journal of nano- and electronic physics, 16(1), pp. 1–6 (2024).
- [14]. L. Agarwal, K. S. Rao, R. P. Dwivedi Highly Selective Behavior of Thin Film ZnO Based Homo Junction Photodetector for UV Sensing //Journal of nano- and electronic physics, 14(2), pp. 1–7 (2022).

Стаття надійшла до редакції 26.08.2024 р.

UV PHOTODETECTOR MODULE BASED ON THIN FILM ZINC OXIDE

I. V. Padalka, I. S. Virt

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University,
Department of Physics, Institute of Physics, Mathematics, Economics and
Innovative Technologies; 24 I. Franko St, Drohobych, Ukraine;
Email: ivan.padalka@dspu.edu.ua, isvirt@dspu.edu.ua

Summary

An analysis of the work of the created photodetector module of ultraviolet (UV) radiation was carried out. A zinc oxide/silicon (ZnO/Si) heterostructure was used as the working element of radiation registration. A thin film heterostructure obtained by laser deposition of zinc oxide on a silicon substrate. The case study deals with the development and testing of a wireless online UV detector network. The network can provide real-time data. The Wi-Fi protocol was configured to maximize spatial coverage with sufficient bandwidth to meet exposure monitoring requirements. The developed wireless network has proven its ability to achieve sampling periods down to 0.1 s, which is considered sufficient to detect the fastest expected radiation signal. The availability of low-latency information makes the monitoring system a sufficient tool for a wide range of photovoltaic system control. According to the conducted test and results, the developed module in a wireless sensor network (Wireless sensor networks - WSN) can achieve characteristics comparable to a modern radiation monitoring network.

Future work will improve the developed WSN by replacing the external power source with a small photovoltaic panel and storage battery to enable fully autonomous wireless functions. Data collected by WSNs will be used to apply cloud motion estimation algorithms, current forecasting techniques, and how shared nearby radiative networks can improve forecasting skills.

Keywords: heterostructure, zinc oxide, ultraviolet radiation, photodetector module, sensor network

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2024.3.312193>

УФ-ФОТОДЕТЕКТОРНИЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВІ ТОНКОПЛІВКОВОГО ОКСИДУ ЦИНКУ

I. В. Падалка, I. С. Вірт

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,
факультет фізики, математики, економіки та інноваційних технологій;
вул. Івана Франка, 24, Дрогобич, Україна;
Email: ivan.padalka@dspu.edu.ua, isvirt@dspu.edu.ua

Реферат

Проведено аналіз роботи створеного фотодетекторного модуля ультрафіолетового (УФ) випромінювання. Робочим елементом реєстрації випромінювання використано гетероструктуру оксид-цинку/кремній (ZnO/Si). Тонкоплівкова гетероструктура отримана лазерним осадженням оксиду цинку на підкладку кремнію. У прикладному дослідженні йдеться про розробку та тестування бездротової онлайн-мережі детектора УФ-випромінювання. Мережа здатна надавати дані в режимі реального часу. Протокол Wi-Fi був сконфігурований з метою максимізації просторового покриття з достатньою пропускну здатністю для досягнення вимог моніторингу опромінювання. Розроблена бездротова мережа довела свою здатність досягати періодів вибірки до 0,1 с, який вважається достатнім для виявлення найшвидшого очікуваного сигналу випромінювання. Доступність інформації з низькою затримкою робить систему моніторингу достатнім інструментом для широкого спектру керування фотоелектричними системою. Згідно з проведеними випробуваннями і результатами, розроблений модуль у бездротовій сенсорній мережі (Wireless sensor networks -WSN) здатний досягати характеристик, порівнянних із сучасною мережею моніторингу випромінювання.

Подальша робота покращить розроблений WSN шляхом заміни зовнішнього джерела живлення на невелику фотоелектричну панель і акумуляторну батарею для забезпечення повністю автономних бездротових функцій. Дані, зібрані WSN, використовуватимуться для застосування алгоритмів оцінки руху хмар, методів поточного прогнозування та того, як спільні мережі радіаційного випромінювання поблизу можуть покращити навички прогнозування.

Ключові слова: гетероструктура, оксид цинку, ультрафіолетове випромінювання, фотодетекторний модуль, сенсорна мережа