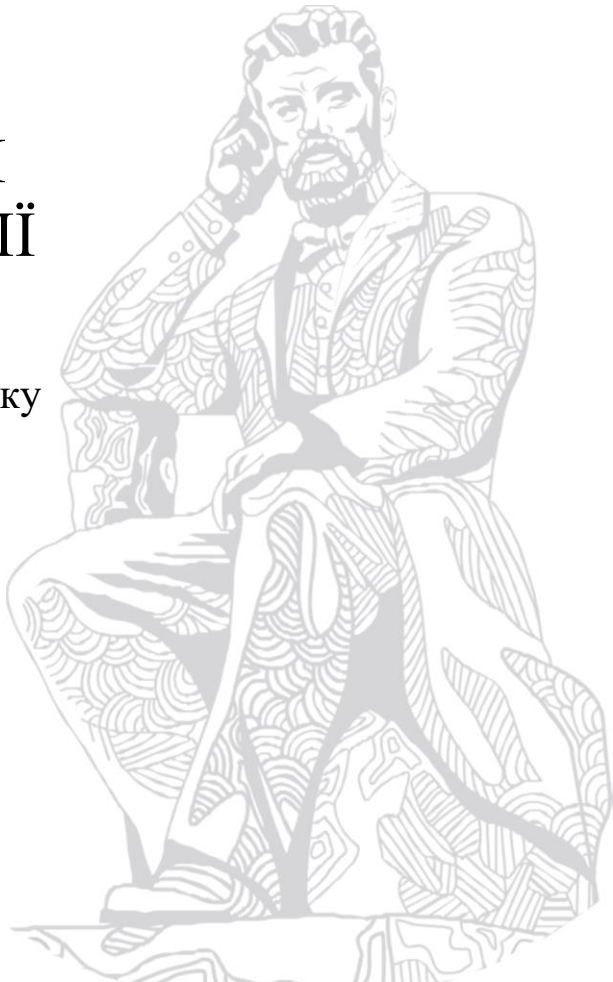
Інженерія комп’ютерних та електронних систем
ECES-2026

Перша міжнародна науково-практична конференція

МАТЕРІАЛИ
КОНФЕРЕНЦІЇ

28 - 30 травня 2026 року



Івано-Франківськ
2026

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ФОТОПРИЙМАЧІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ БПЛА В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ

професор Стрілкова Т.О., с.н.с. Литюга О.П.,
асистент Пятайкіна М.І., студент Кондрат В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра мікроелектроніки, електронних пристроїв та приладів,
e-mail: tetiana.strilkova@nure.ua, oleksandr.lytiuha@nure.ua,
mariia.piataikina@nure.ua, valeriia.kondrat@nure.ua

Abstract. This work identifies which photodetector parameters are critical for use in UAV detection at night. It analyzes which material parameters affect the dark current and photodetector speed. The parameters of different semiconductors are considered and compared with the obtained material selection criteria. It is proposed to use cadmium telluride as a material for a photodetector in a UAV detection system.

Ключові слова: фотодетектор, темновий струм, кадмій телурид.

Вступ. В умовах війни своєчасна детекція БПЛА є першим важливим кроком для захисту мирного населення та військових цілей. Найпоширенішими технологіями виявлення дронів є акустичні, тепловізійні, радіолокаційні системи, радарні комплекси та аналізатори радіочастотного спектра [1]. Однак стандартні методи мають значні обмеження при спробах виявити малі та швидкі цілі, що летять низько (наприклад, радарні комплекси мають дальність 15-500 км). Аналізатори спектру корисні для фіксації БПЛА, що керуються радіосигналами, проте незастосовувані при спостереженні оптоволоконних дронів. Рішенням цієї проблеми є створення оптичних сенсорів, що здатні реєструвати слабкий сигнал в нічних умовах, що характеризуються низькою освітленістю. Сучасні системи детектування БПЛА страждають від недостатньої чутливості фотоприймачів, що ускладнює виявлення ворожих дронів у реальних умовах експлуатації.

Метою роботи є створення концептуальної моделі «більше чутливості, менше шуму», яка враховує ключові параметри фотоприймача для досягнення максимальної ефективності, забезпечення підвищеної чутливості та мінімізації рівня шуму.

Основна частина. Для швидкого виявлення цілей в умовах низької освітленості ключовими є такі параметри фотодетектора, як чутливість, рівень власних шумів, роздільна здатність (межа виявлення) та час відгуку. Ці параметри визначаються матеріалом, структурою, технологією виготовлення фотоприймача. Тому підбір матеріалу є одним з ключовим аспектів при проєктуванні спеціалізованого фотоприймача. Швидкодія фотодіода визначається часом дрейфу носіїв через збіднену область, часом дифузії неосновних носіїв через емітер та часом заряджання бар'єрної

ємності p–n-переходу, тобто його ємністю. В зовнішньому електричному полі швидкість руху носіїв визначає їх рухливість, при дифузійному русі – коефіцієнт дифузії. На ємність переходу сильно впливає діелектрична проникність матеріалу. Тому для збільшення швидкодії фотодетектора, його матеріал повинен мати високу рухливість основних носіїв, високий коефіцієнт дифузії неосновних носіїв та низьке значення діелектричної проникності. Важливою характеристикою напівпровідника для виготовлення фотодіода є його коефіцієнт поглинання α. Він визначає глибину проникнення світла у структуру. Чим більшою є глибина проникнення випромінювання, тим більше світлової енергії втрачається в товщі напівпровідника. Від коефіцієнта поглинання сильно залежить темп світлової генерації.

Основним джерелом власних шумів фотодетектора є темновий струм, який зумовлений термогенерацією носіїв. Інтенсивність термогенерації залежить від ширини забороненої зони напівпровідника. Чим менше ширина забороненої зони, тим менше енергії необхідно електрону для міжзонного переходу, тому у вузькозонних напівпівпровідниках вища інтенсивність термогенерації і більший темновий струм. Зокрема, при зміщенні спектру поглинання фотодетектора у ІЧ-діапазон зростають зовнішні шуми через велику кількість джерел ІЧ-випромінювання, влючаючи теплове випромінювання навколишніх об'єктів.

В умовах низької освітленості (ніч, сутінки) системи оптичного виявлення працюють у ближньому інфрачервоному діапазоні, де чутливість сенсорів вища і вплив видимого світла мінімальний. Тому доцільним є вибір спектрального діапазону фотодетектора, що охоплює довжини хвиль 600-800 нм. Фотодетектор при цьому не сприймає ІЧ-випромінювання.

Оптимальним матеріалом для фотодетектора у системі виявлення БПЛА в умовах низької освітленості є кадмій телурид. Він має достатню рухливість носіїв (1100 $см^2/В{\cdot}с$ для електронів), низьку діелектричну проникність ($\varepsilon = 10{,}4$) [2] і високий коефіцієнт поглинання на довжинах хвиль 600-800 нм (близько $5{\cdot}10^4$ $см^{-1}$). Ширина забороненої зони у 1,475 [2] відсікає випромінювання з довжиною хвилі більше 840 нм.

Завдяки своїм властивостям кадмій телурид активно досліджується як матеріал, який знаходить застосування у фотодетекторах [3-4]. Значний коефіцієнт поглинання надає переваги при використанні кадмій телуриду у якості поглинаючого шару у p-i-n структурах. Час відгуку подібних пристроїв досягає декількох мікросекунд. Параметри матеріалу можуть бути легко налаштовані для конкретних пристроїв через легування, регулювання дефектів та застосування технології гетеропереходів [5-7].

В доповіді представлені результати моделювання реєстрації слабких сигналів в умовах низької освітленості за допомогою різних фотоприймачів. Показано, що використання більш чутливих приймачів

випромінювання (з меншим значенням темнових шумів) дозволяє реєструвати оптичні сигнали однакової амплітуди з кращими характеристиками виявлення.

Моделювання процесу виявлення показало, що якість виявлення оптичних сигналів визначається рівнями сигнальної складової та власних шумів приймача випромінювання. Для виявлення слабких сигналів в умовах низької освітленості можуть бути реалізовані порогові алгоритми, при цьому якість виявлення визначається правильним вибором порога виявлення. Використання більш чутливих приймачів випромінювання при застосуванні критерію виявлення Неймана-Пірсона дозволяє при заданій умовній імовірності хибної тривоги 10-3 забезпечити виявлення більш слабких сигналів з максимальною умовною імовірністю правильного виявлення.

Висновки. Кадмій телурид є перспективним матеріалом у виробництві фотодетекторів для системи виявлення малогабаритних, швидких БПЛА, що низько летять. Низький темновий струм та значний коефіцієнт поглинання даного напівпровідника дозволяють досягти високої чутливості фотоприймача, висока рухливість носіїв і мала діелектрична проникність сприяють зменшенню часу відгуку. Кадмій у поєднанні з іншими напівпровідниками може бути основою для різних варіантів гетеропереходів. Новітні структури, такі як квантові ями та надгратки на основі кадмій телуриду відкривають нове поле досліджень.

Список використаних джерел.

1. Sokolskyi, S. O., & Movchaniuk, A. V. (2021). Overview of detection and localization methods of small unmanned aerial vehicles. Visnyk NTUU KPI. Seriia Radiotekhnika, Radioaparatobuduvannia, (87), 46–55.

2. Madelung O. Semiconductors: Data Handbook. 3rd ed. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2004. 691 p.

3. Олексієнко К. Р., Стрілкова Т. О. Використання штучного інтелекту для моделювання та прогнозування властивостей наноструктур / К. Р. Олексієнко, Т. О. Стрілкова // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму, 16–19 квітня 2025 р. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Т. 1. – С. 82–83.

4. Олексієнко К. Р., Стрілкова Т. О. Інформаційна система реєстрації випромінювання з урахуванням моделювання та прогнозування властивостей наноструктур / К. Р. Олексієнко, Т. О. Стрілкова // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : Матеріали 30-го Міжнародного молодіжного форуму, 22–24 квітня 2026 р. – Харків : ХНУРЕ, 2026. – Т. 3. – С. 454-456.

5. Ujjwal Prasad; Pushp Raj Harsh; S. R. Kumar; K. Prasad. (2026), Cadmium Telluride (CdTe): A Comprehensive Review on Properties, Thin-Film Fabrication, and Applications". International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT) IJISRT26JAN1101 2033-2044 DOI: 10.38124/ijisrt/26jan1101.

6. Пятайкіна М. І., Стрілкова Т. О. Дослідження дефектів дислокації в напівпровідникових матеріалах оптичними методами // XXII Міжнародна науково-технічна конференція "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи". Секція 2. Оптичні та оптико-електронні прилади системи. Фотоніка. 16-17 травня 2023 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. С. 45-48.

7. Стрілкова Т.О., Калмиков О.С., Бендеберя Г.М., Пятайкіна М.І., Поліщук О.В. Стохастичні моделі вихідних сигналів в оптико-електронних системах // Колективна монографія «Сучасні технології в науці та освіті». 2021. Сєвєродонецьк. С. 256-259.