

УДК 621.38-022.532:004.891.3

**ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ
ВИПРОМІНЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ МОДЕЛЮВАННЯ
ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОСТРУКТУР**

Олексієнко К. Р., Стрілкова Т. О.

e-mail: kyrylo.oleksiienko@nure.ua tetiana.strilkova@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП
м. Харків, Україна

The study explores information systems for radiation detection in nanostructures, emphasizing semiconductor modeling for optoelectronic applications. Key factors influencing photodetector accuracy and sensitivity, including internal noise and active area size, are analyzed. Statistical modeling demonstrates the advantages of CdHgTe-based detectors due to significantly lower noise levels compared to Si and GaAs. The results highlight the potential of information technologies in optimizing weak signal detection and advancing modern optoelectronic systems.

Дослідження інформаційних систем реєстрації випромінювання наноструктур є важливим напрямом сучасного матеріалознавства та нанотехнологій. Складність процесів, що відбуваються в наноматеріалах, потребує застосування методів моделювання та аналізу даних для точного прогнозування їх властивостей. Інформаційні системи відіграють ключову роль у перетворенні фізичних сигналів у цифрові дані та їх подальшій обробці [1, 2].

У сучасній мікроелектроніці процес моделювання структури донорно-акцепторних напівпровідників відіграє ключову роль у розробці нових матеріалів, наприклад для фоточутливих датчиків систем технічного зору та фотоніки. Розвиток сучасної елементної бази систем технічного зору базується на розробці високочутливих елементів до поодиноких фотонів. Зростаюча технологічність та чутливість фотоприймальних пристроїв дає можливість аналізувати сигнали, які характеризуються все більш слабкими рівнями енергії, і тим самим розширювати можливості оптико-електронних систем [3]. Тому розробка моделі дослідження та врахування властивостей фотоприймачів (таких як розмір фоточутливих елементів, рівень внутрішніх завад та нерівномірність чутливості) дозволить враховувати рівень темнових струмів та оптимізувати алгоритми виявлення оптичних сигналів малої інтенсивності [4, 5].

Метою роботи є використання інформаційних технологій для аналізу точності та чутливості фотоприймачів при реєстрації оптичних сигналів в залежності від властивостей напівпровідникової структури фотоприймача.

Для прогнозування властивостей матеріалів застосовується моделювання просторової та енергетичної структури напівпровідникових фотоприймачів. Використовуючи програму Gaussian, можна досліджувати будо-

ву, властивості хімічних сполук, їхню взаємодію та перетворення в хімічних реакціях за допомогою методів квантової хімії [6].

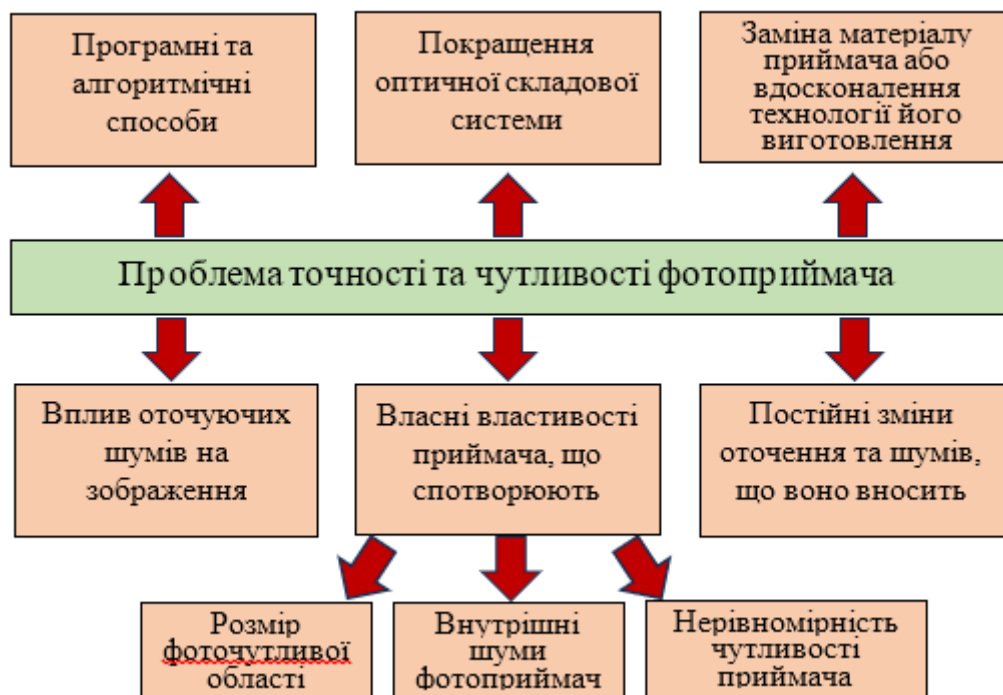


Рисунок 1. Фактори та методи покращення точності й чутливості фотоприймача

Дослідження просторової структури донорно-акцепторного напівпровідника (наприклад, арсеніду кремнію SiAs) показує, що при введенні домішки у збуджений стан спостерігається активна поведінка електронної хмари, що зумовлює гарні легуючі властивості арсену та свідчить про легкість його впровадження у структуру напівпровідника кремнію [5].

Важливим етапом є моделювання процесів впливу темнових шумів напівпровідникових фотоприймачів при реєстрації слабого оптичного випромінювання. Значення темнового струму, що виникають за законом нормального розподілу, залежать від характеристик матеріалу - концентрації носіїв заряду та їх рухливості.

Питома електропровідність власних напівпровідників визначається за співвідношенням:

$$\sigma_0 = e(n_0\mu_n + p_0\mu_p),$$

де e – заряд електрона, n_0 , p_0 – концентрації електронів та дірок, μ_n , μ_p – рухливості носіїв заряду.

В доповіді представлено розрахунки статистичних характеристик виявлення корисного сигналу на фоні внутрішніх шумів фотоприймачів, виконаних з різних матеріалів, зокрема Si, GaAs та структури CdHgTe (КРТ).

Моделювання показало, що у випадку приймачів з GaAs та Si ймовірність виявлення корисного сигналу на фоні шумів становитиме набагато

менше, що сильно вплине на якість обробки сигналів малої інтенсивності.

Натомість для приймача структури КРТ (CdHgTe) значення внутрішніх шумів (із середнім значенням $1 \cdot 10^{-14}$ А) приблизно на 6 порядків менше обраного порогового значення корисного сигналу, а отже зовсім не впливає на його якість. Відповідно, для подібного матеріалу є можливість змістити порогове значення сигналу, тим самим збільшивши якість та роздільну здатність зчитуваної приймачем інформації.

Моделювання процесу виявлення показало, що якість реєстрації сигналу визначається рівнями сигнальної складової та власних шумів приймача випромінювання. Чим вище обрано поріг виявлення, тим менша ймовірність хибної тривоги, однак при цьому зростає ймовірність пропуску сигналу.

Вибір величини порогу пов'язаний з необхідністю забезпечити задане значення умовної ймовірності хибної тривоги. Використання більш чутливих приймачів випромінювання при застосуванні критерію виявлення Неймана–Пірсона дозволяє при заданій ймовірності хибної тривоги 10^{-3} забезпечити виявлення слабших сигналів з максимальною умовною ймовірністю правильного виявлення.

Використані інформаційні технології дозволяють проводити ґрунтовні дослідження при розробці нових матеріалів для мікроелектроніки та оптоелектроніки та мають вагомні перспективи для подальшого практичного застосування.

Список використаних джерел:

1. 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 ХХІ столітті : Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму, 16–19 квітня 2025 р. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Т. 1. – С. 82–83.

2. Пятайкіна М. І., Стрілкова Т. О. Дослідження дефектів дислокації в напівпровідникових матеріалах оптичними методами // ХХІІ 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.

3. 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. Сєверодонецьк. С. 256-259.

4. Modeling of Dark Current in HgCdTe Infrared Detectors / Q. Wen et al. 2013.

5. Range Image Reconstruction From GM-APD LiDAR Data Based on Neyman–Pearson Criterion / Y. Wei et al. *IEEE Xplore*. 2024.

6. Gaussian 16, Revision C.01 / M. J. Frisch et al. Wallingford CT : Gaussian, Inc., 2016.