

PACS: 07.07.Df, 42.79.Ls, 85.60.Dw

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2025.4.343569>

ОПТИЧНИЙ ЗОНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ОДНОРІДНОСТІ ФОТОЧУТЛИВОСТІ ДЕТЕКТОРІВ В ІЧ ДІАПАЗОНІ

О. Г. Голенков, <https://orcid.org/0000-0001-8009-7161>

А. В. Шевчик-Шекера, <https://orcid.org/0000-0002-4708-8535>

В. В. Забудський, <https://orcid.org/0000-0003-2033-8730>

І. О. Лисюк, <https://orcid.org/0000-0003-0369-5883>

З. Ф. Цибрій, <https://orcid.org/0000-0003-1718-5569>

А. С. Станіславський,

С. В. Корінець,

А. Ю. Шекера

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,
просп. Науки, 41, м. Київ, 03028, Україна, +38 (044)525 40 20,

e-mail: golenkov@isp.kiev.ua, shevchik-shekera@isp.kiev.ua, zv1968@yahoo.com, lysiuk@isp.kiev.ua,
tsybrii@isp.kiev.ua, anstan1939@gmail.com, vsekori@yahoo.com, andrii.shekera@isp.kiev.ua

Анотація. Запропоновано конструкцію оптичного зонда для вимірювання параметрів детекторів інфрачервоного діапазону, таких як, ефективна фоточутлива площа, однорідність фоточутливості по поверхні та коефіцієнт фотоелектричного зв'язку. Експериментально та теоретично оцінено діаметр плями оптичного зонда та проведено випробування оптичного зонда на прикладі визначення однорідності фоточутливості по поверхні InSb фотодіоду на довжині хвилі 4,3 мкм.

Ключові слова: оптичний зонд, інфрачервоний діапазон, ефективна фоточутлива площа, однорідність фоточутливості, коефіцієнт фотоелектричного зв'язку

ВСТУП

Незважаючи на тривалий період інтенсивних досліджень інфрачервоні (ІЧ) технології продовжують бути предметом вивчення для розширення сфери їх застосування в обороні та безпеці, контролі промислових процесів, моніторингу навколишнього середовища, дослідженні космосу, медицині та науці [1, 2]. Висока чутливість ІЧ-детекторів до теплового випромінювання забезпечує ефективне дистанційне виявлення, отримання зображень та класифікацію об'єктів в умовах обмеженої видимості у видимому діапазоні, зокрема через дим, туман чи в суцільній темряві, коли традиційні оптичні системи неефективні. А з впровадженням для обробки даних алгоритмів нейронних мереж значення систем на основі ІЧ-технологій лише зростає – від дистанційного неруйнівного контролю та діагностики до

автономного управління та виявлення загроз автоматизованими системами розпізнавання, що задіють, наприклад, в пошуково-рятувальних операціях з застосуванням безпілотних літальних апаратів [3].

Досягнення в галузі матеріалознавства, мікроелектроніки та обробки сигналів забезпечили можливість розроблення нових поколінь ІЧ-детекторів і матриць фокальних площин, які пропонують вищу просторову роздільну здатність, підвищену чутливість, розширений спектральний діапазон та швидке зчитування. Зокрема, стрімкий прогрес у створенні матриць для середнього та далекого ІЧ-діапазонів на основі таких матеріалів, як HgCdTe, InSb, InAs/GaSb, та технологій мікроболометрів, лежить в основі зростання як цивільного так і спеціалізованого ринків тепловізійних засобів та спектроскопії. Водночас, інноваційні рішення

ня сприяють мініатюризації розмірів пікселів, зменшенню споживання енергії пристрою в цілому та створенню мультиспектральних приладів, а також, стимулюють подальші дослідження в архітектурі та інженерії фоточутливих гетероструктур та проектуванні вдосконалених схем зчитування [4].

Зазвичай, окрім геометричних розмірів та робочих режимів роботи, ІЧ-детектори характеризуються за допомогою наступних параметрів: 1) фоточутливість, 2) питома виявляювальна здатність або потужність еквівалентна шуму, 3) спектральна характеристика чутливості. Проте важливим є, також, встановлення однорідності фоточутливості по поверхні зразка, визначення ефективної фоточутливої площі, а для багатоелементних приймачів ще і коефіцієнта фотоелектричного зв'язку, тобто вплив опромінення окремого фоточутливого елемента на його "сусідів", особливо при мінімізації розмірів пікселів [5-7]. Коефіцієнт фотоелектричного зв'язку впливає на якість зображення матричних приймачів випромінювання, а разом з ефективною фоточутливою площею визначає просторову роздільну здатність.

Метою даної роботи було розроблення конструкції та виготовлення прототипу оптичного зонда ІЧ діапазону для застосувань по визначенню ефективної фоточутливої площі та неоднорідності чутливості по поверхні детектора, коефіцієнту фотоелектричного зв'язку між сусідніми приймачами, а також тестування його функціональності на експериментальному зразку *InSb* фотодіоду. Запропонований оптичний зонд буде входити в загальний вимірювальний комплекс для визначення електричних та фотоелектричних параметрів одноелементних та багатоелементних ІЧ-детекторів.

ЗАГАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ ПРИСТРОЮ З ОПТИЧНИМ ЗОНДОМ У СКЛАДІ

Загальну схему експерименту з оптичним зондом наведено на рис. 1. Пристрій складається з оптичного зонда, оптичного кріостату, в якому змонтовано досліджуваний фотоприймальний модуль, трьохкоординатної системи прецизійного позиціювання, системи реєстрації, персонального комп'ютера з програмним забезпеченням.

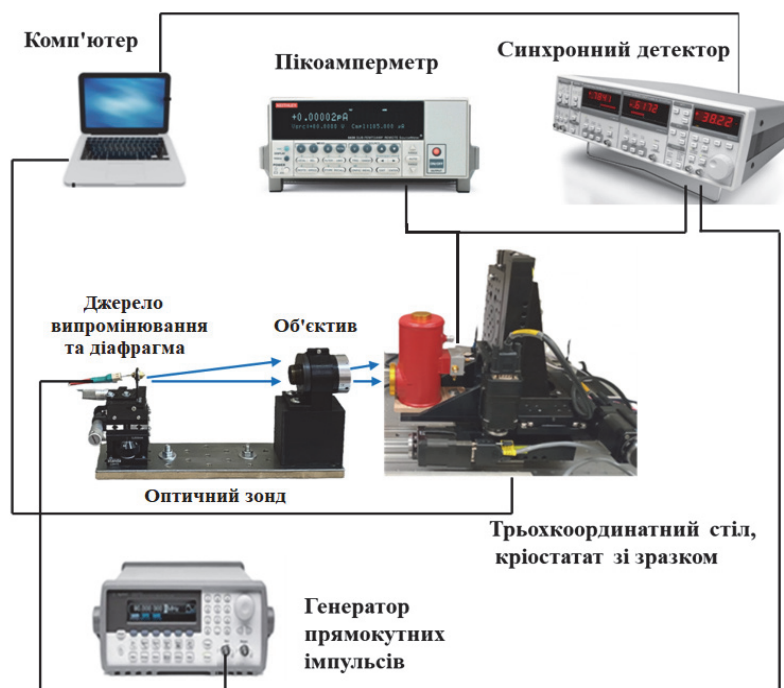


Рис. 1. Схема пристрою для визначення ефективної фоточутливої площі детектора, неоднорідності чутливості по площі детектора та коефіцієнта фотоелектричного зв'язку багатоелементних приймачів ІЧ випромінювання.

Генератор прямокутних імпульсів задає робочий режим джерела випромінювання та імпульс синхронізації для синхронного детектора. В експериментах з *InSb* фотодіодом частота модуляції складала 1250 Гц. Пікоамперметр з функцією джерела напруги використовувався для контролю вольт-амперних характеристик приймача випромінювання і вибору оптимальної робочої точки. Реєстрація фотоструму здійснювалась синхронним детектором.

Схему оптичного зонда наведено на рис. 2. Оптичний зонд включає наступні елементи: рефлексорний об'єктив, змінні діафрагми, змінні джерела випромінювання, фотоприймальний пристрій в кріостаті, що тестується.

До розмірів плями оптичного зонда в фокусі висуваються наступні вимоги, в залежності від параметру, що визначається. При вимірюванні ефективної фоточутливої площі та коефіцієнта фотоелектричного зв'язку максимальний розмір плями оптичного зонда на поверхні фоточутливого елементу, в межах якого сфокусовано не менш 90% падаючого випромінювання не повинен перевищувати величину ефективної фоточутливої площі. При вимірюванні неоднорідності чутливості по площі – не більше 0,2 розміру фоточутливого елементу, вздовж якого буде оцінюватись нерівномірність чутливості. Розподіл опромінення в плямі має бути центральносиметрич-

ним. Значення напруги (струму) фотосигналу при повному влучанні плями оптичного зонда на фоточутливу площу повинно бути більше в 100 разів, ніж напруга (струм) шуму і знаходитись в межах динамічного діапазону фотоприймального пристрою.

Нижче подано короткий опис об'єктива, джерел випромінювання та діафрагм, які були використані для даної роботи, або планується задіяти в майбутньому.

Об'єктив Ealing Beck 15x Reflecting Objective (по каталогу "Edmund Optics" – модель 15X/0.28NA Objective #66-576) – рефлексорний об'єктив, який складається з двох асферичних дзеркал, має 15-кратне збільшення, числову апертуру – 0,28, задню фокусну відстань – 160 мм та робочу відстань – 24,5 мм. Об'єктив оптимізований для спектрального діапазону 0,2 – 11 мкм, ступінь блокування випромінювання центральною частиною (obscuration) 18,9%, діаметр маленького дзеркала 7,3 мм. Світло від джерела випромінювання проходить крізь отвір у великому дзеркалі, падає на маленьке дзеркало, яке відбиває випромінювання, і фокусує його на приймальному пристрої. Згідно зі специфікацією, конструкція об'єктива забезпечує високу роздільну здатність, близьку до дифракційного обмеження, та компактні розміри.

Варіанти джерел випромінювання перелічені в таблиці 1, а параметри діафрагм в таблиці 2.

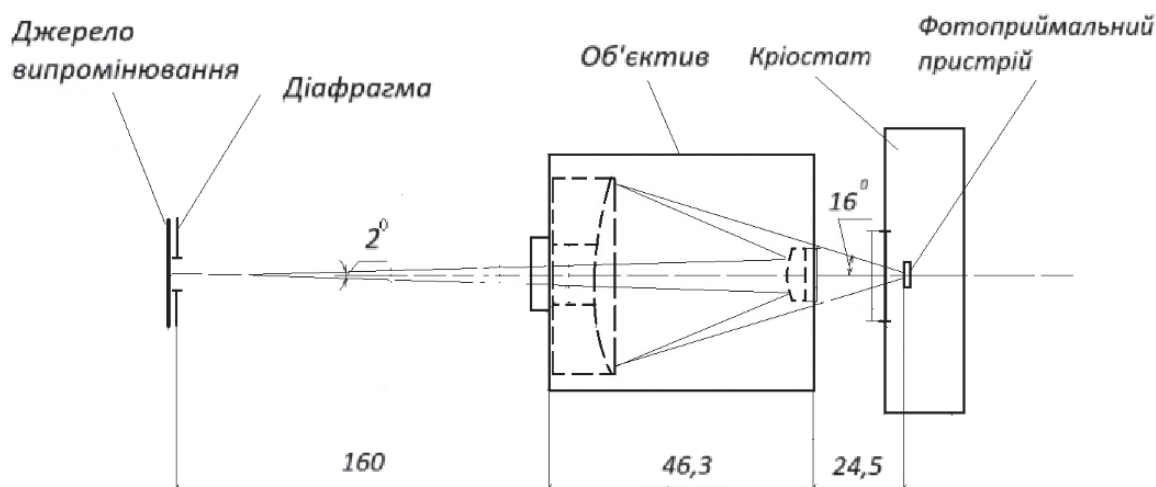


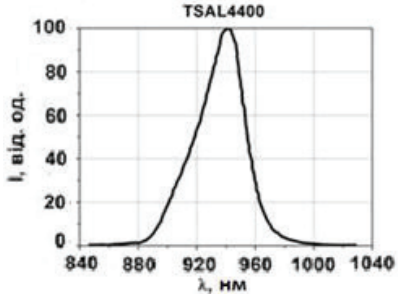
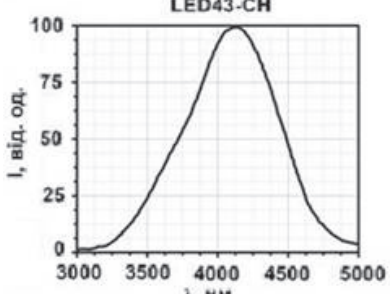
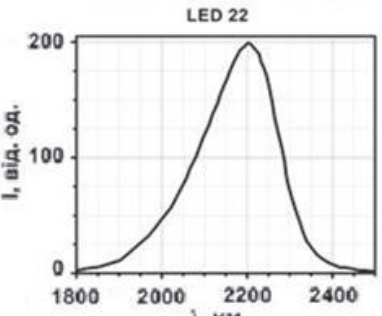
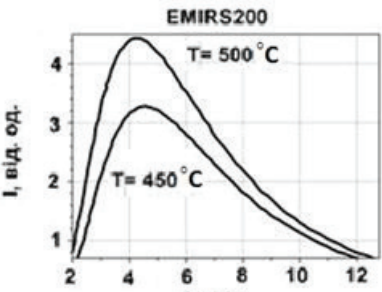
Рис. 2. Схема взаємодії оптичного зонда з приймачем випромінювання.

Для інтеграції джерел випромінювання в вимірювальну систему важливо знати частоту модуляції випромінювання f_m , потужність випромінювання P_0 , номінальні режими роботи

(струм I_0 та напруга U_0), а також довжину хвилі в максимумі випромінювання λ_{max} та спектр їх випромінювання.

Таблиця 1

Основні параметри джерел випромінювання

Джерело	f_m , Гц	P_0 , мВт	λ_{max} , нм	Спектр випромінювання
TSAL4400 "Vishay Semicond."	DC – 10^7	~ 7 $I_0 = 20$ мА	0,94	
LED43-CH "Roithner Laser Technic"	$500 - 2,5 \times 10^5$	$\sim 0,1$ $I_0 = 200$ мА	4,2	
LED 22 "Roithner Laser Technic"	$500 - 2,5 \times 10^5$	~ 1 $I_0 = 200$ мА	2,2	
EMIRS200_ AT01T_ BR080 "Axetris"	4 – 15	~ 35 (500 °C) $U_0 \sim 5$ В	4,2	
S1300-5MG "Roithner Laser Tch."	DC – $3,5 \times 10^8$	~ 5 $I_0 = 20$ мА	1,31	Лазерний діод, $\lambda_{max} = 1310 \pm 3$ нм

Таблиця 2

Перелік використовуваних діафрагм.

Назва	Опис
P10	Зовнішній діаметр 12,7 мм, діаметр отвору 10 мкм
P20	Зовнішній діаметр 12,7 мм, діаметр отвору 20 мкм
P75	Зовнішній діаметр 12,7 мм, діаметр отвору 75 мкм,
P130	Зовнішній діаметр 12,7 мм, діаметр отвору 130 мкм
P2000	Зовнішній діаметр 12,7 мм, діаметр отвору 2000 мкм

Випромінювачі мають наступні призначення.

Джерело TSAL4400 разом з CCD камерою використовується для юстування оптичної системи, визначення і контролю оптичних параметрів (фокусних відстаней) зонда, візуалізації та експериментальної оцінки розмірів плями оптичного зонда на довжині хвилі 0,94 мкм і для наступного розрахунку розмірів цієї плями при використанні джерел випромінювання з іншими довжинами хвиль.

Джерело LED43-CH використовується для безпосередніх вимірювань неоднорідності чутливості, ефективної чутливої площі та коефіцієнта фотоелектричного зв'язку на довжині хвилі 4,3 мкм. Джерело EMIRS200 використовується для тих же вимірювань чутливої площі та коефіцієнта взаємозв'язку, але для випромінювання близького до випромінювання чорного тіла в спектральному діапазоні 2-12 мкм (див. табл. 3 зі спектрами джерел випромінювання). Це може мати вплив на результати вимірювань, тому що глибина поглинання та, відповідно, генерація-рекомбінація фотозбуджених носіїв заряду залежить від довжини хвилі випромінювання. До джерела можна, також, застосувати оптичні фільтри та відокремити необхідний діапазон від широкого спектру EMIRS200 і проводити вимірювання саме в тому спектральному діапазоні, який відповідає конкретному типу фотоприймачів, наприклад для довгохвильових фотодіодів на основі HgCdTe.

Особливістю джерела LED 22 є приблизно в 2 рази менша довжина хвилі і більша величина оптичної потужності в порівнянні

з LED43-CH, що дає можливість зменшити пляму оптичного зонда (за рахунок вдвічі меншого дифракційного розмиття) та збільшити інтенсивність випромінювання. Джерело S1300-5MG має швидкий час включення і виключення оптичного потоку ($t \sim 0.7$ нс), що дає можливість вимірювати час життя нерівноважних носіїв заряду (для таких вимірювань він має суттєво перевищувати час t). Крім того, воно має більшу потужність випромінювання і призначене для потенційного використання з приймачами, що мають максимум спектральної чутливості в ближньому ІЧ-діапазоні.

В залежності від використаного джерела випромінювання та розміру діафрагми можна розрахувати розмір оптичної плями зонда. Для оцінки сумарного розміру світлової плями, коли одночасно впливають і геометричні (зменшення об'єктиву 1/15), і дифракційні фактори (диск Ейрі) використовується формула (1) [8]:

$$d_{total} = \sqrt{d_{geom}^2 + d_{diff}^2}, \quad (1)$$

$$d_{geom} = \frac{D_{dia}}{M}, \quad (2)$$

$$d_{diff} = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{NA}, \quad (3)$$

де d_{total} – теоретичний розмір світлової плями в просторі зображення для ідеального об'єктива, D_{dia} – розмір діафрагми, d_{diff} – розмір плями Ейрі, $M = 15$ – збільшення об'єктива, λ – довжина хвилі випромінювача, NA – числова апертура об'єктива.

З результатів розрахунку, показаних в таблиці 3, випливає, що для середнього

Таблиця 3

**Розмір оптичної плями зонда в залежності
від використаного джерела випромінювання та розміру діафрагми**

Діафрагма D_{dia} , мкм	Без дифракції	Довжина хвилі випромінювання λ , мкм									
		0,94	1,3	2,2	2,8	3,4	3,8	4,3	8	9	10
		Діаметр плями оптичного зонда в фокусі d_{total} , мкм									
130	8,7	9,6	10,4	12,9	15,0	17,2	18,7	20,6	35,9	40,2	44,4
75	5	6,5	7,6	10,8	13,2	15,6	17,3	19,4	35,2	39,5	43,9
20	1,3	4,3	5,8	9,7	12,3	14,9	16,6	18,8	34,9	39,2	43,6
10	0,7	4,1	5,7	9,6	12,2	14,8	16,6	18,7	34,9	39,2	43,6

($\lambda = 4.3$ мкм) і, особливо, далекого ($\lambda = 10$ мкм) ІЧ-діапазону визначальний фактор формування розміру оптичної плями зонда в фокусі – є дифракційне обмеження (розмір плями Ейрі).

На довжині хвилі 0.94 мкм розмір оптичної плями був визначений експериментально. Ця операція проводилась при початковому юстуванні оптичного зонда. В експерименті використовувався випромінювач TSAL4400, діафрагма розміром 130 мкм та CCD камера яка розташовувалась в площині зображення і чутлива в видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах світла, має роздільну здатність 2592×1944 та розмір пікселя 2.2 мкм $\times$ 2.2 мкм.

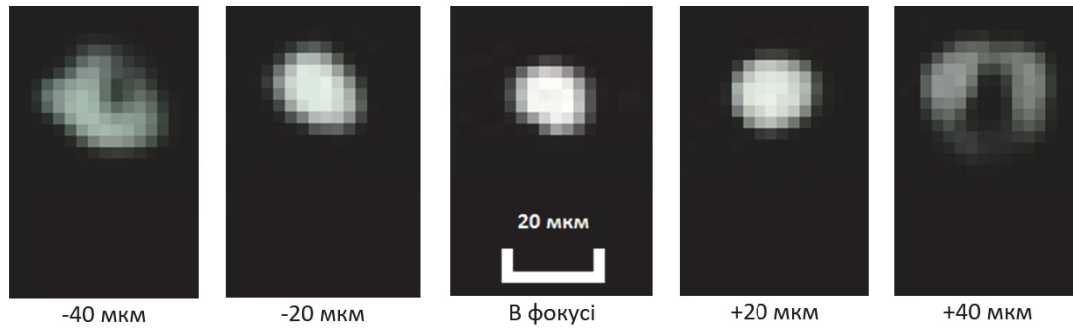
Всі компоненти оптичного зонда розміщувались на оптичній рейці згідно зі схемою наведеною на рис. 2. За допомогою програми Micro Capture Ver6.9.3 фіксувалось зображення оптичної плями в фокусі (рис. 3,а). Оскільки об'єкти та обрана оптична схема зонда розраховані на зменшення зображення діафрагми в площині зображення порівняно з площиною об'єкту в 15 разів та враховуючи дифракційне обмеження (вважаємо, що геометричне зображення та дифракційне розмиття підсумовуються як незалежні розмиття, за гаусівською апроксимацією) маємо отримати діаметр плями оптичного зонда ~ 9.6 мкм (таблиця 3). Для побудови профілю розподілу інтенсивності випромінювання та отримання значення діаметра плями оптичного зонда використовувалась програма Tour View. Ця програма призначена для роботи з цифровими камерами і

USB-мікроскопами деяких серій. Зняті CCD камерою зображення трансформувались до потрібного формату і по заданих напрямках формувались профілі розподілу інтенсивності випромінювання. Отримані цифрові дані експортувались у програму Microsoft Excel, де і будувались графіки, показані на рис. 3. З графіків випливає, що діаметр плями оптичного зонда (по рівню 0.5 від максимального сигналу, FWHM) дорівнює 14,7; 13,3; 13; 13; 13,8 мкм для положень -20 мкм, -10 мкм, 0 мкм, 10 мкм, 20 мкм, відповідно. На відстані ± 40 мкм від фокуса спостерігаємо порушення гаусівської форми плями оптичного зонда, що свідчить про важливість фокусування з точністю не гіршою ніж ± 20 мкм.

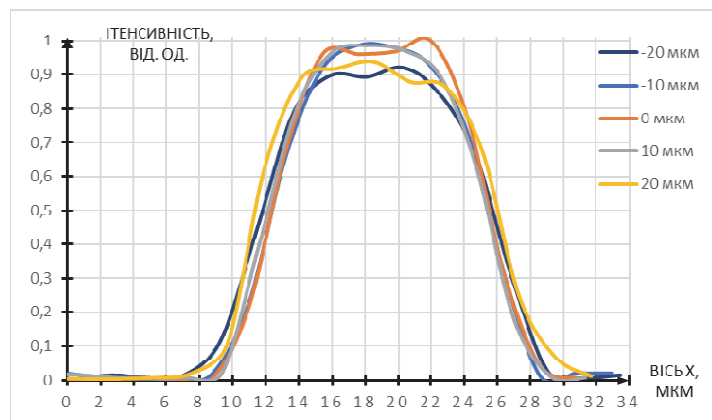
Експериментально визначений діаметр плями є більшим, ніж теоретично розрахований (13 мкм проти 9.6 мкм) що потребує подальшого вивчення. При більших довжинах хвиль, коли визначальним є вплив дифракційного розмиття, різниця між теоретичним та експериментальним значенням діаметра плями буде меншою.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ НЕОДНОРІДНОСТІ ФОТОЧУТЛИВОСТІ

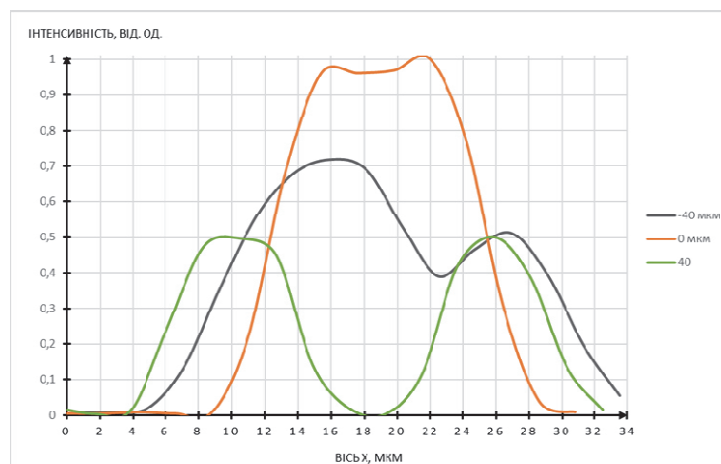
Неоднорідність фоточутливості вимірювалась на прикладі фотодіода InSb, розробленого та виготовленого в ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ [9]. Виміряне значення добутку диференційного опору на топологічну площу діода



а



б



в

Рис. 3. Фото (а) та розподіл інтенсивності випромінювання оптичного зонда в площині зображення (б, в). Довжина хвилі 0,94 мкм, діафрагма 130 мкм. Розмір пікселя камери 2,2 мкм. Графіки та фото наведені як для зображення в фокусі, так і на відстані ± 20 мкм та ± 40 мкм від нього.

$R_0 A_0$ виготовлених фотодіодів перевищувало $12 \text{ кОм} \cdot \text{см}^2$ при температурі 77K та знаходиться на рівні комерційно доступних фотодіодів *InSb*, вироблених компаніями «Teledyne Judson Technologies LLC» та «Hamamatsu Photonics K. K.». Топологічна площа діода $40 \times 230 \text{ мкм}^2$.

За допомогою оптичного зонда можливо експериментально визначити фактичну фото-

чутливу площу і порівняти її з проєктною, а крім того – виміряти неоднорідність чутливості по площі діода. На рис. 4 представлено експериментально отримане зображення розподілу фоточутливості при скануванні оптичним зондом на довжині хвилі 4,3 мкм по поверхні *InSb* фотодіода. Крок сканування 10 мкм. Розрахунковий діаметр оптичного зонда (табл. 3)

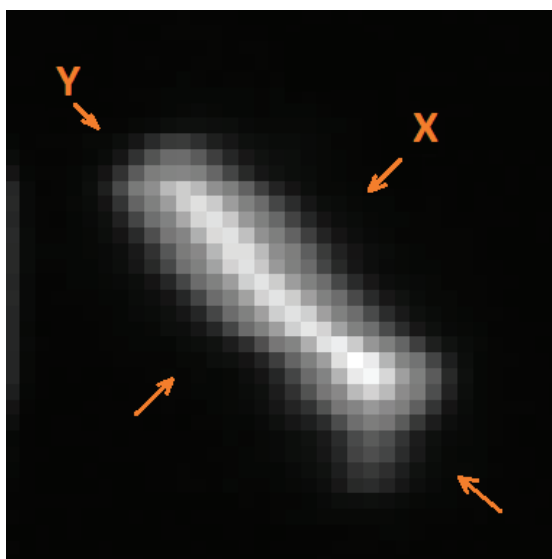


Рис. 4. Зображення розподілу фоточутливості при скануванні оптичним зондом на довжині хвилі 4,3 мкм по поверхні *InSb* фотодіода. Фотострум в максимумі 74 пА, відношення сигнал/шум >350. Крок сканування 10 мкм.

дорівнював ~21 мкм. На рис. 5. показані розподіли фоточутливості *InSb* фотодіода при скануванні оптичним зондом вздовж *X* (а) та *Y* (б) координати.

Неоднорідність фоточутливості δS у напрямку *Y* (рис. 5,б) дорівнювала 0,18 та розраховувалась за формулою

$$\delta S = (U_{\text{макс}} - U_{\text{мін}}) / U_{\text{ср}}, \quad (4)$$

де $U_{\text{макс}}$, $U_{\text{мін}}$, $U_{\text{ср}}$ – максимальне, мінімальне і середнє значення фотоструму відповідно вздовж топологічного розміру *Y* (рис. 5,б).

Ефективна фоточутлива площа $A_{\text{ефф}}$ визначається за формулою:

$$A_{\text{ефф}} = |X_2 - X_1| \cdot |Y_2 - Y_1|, \quad (5)$$

де X_2 , X_1 , Y_2 , Y_1 – границі чутливості фотодіода по рівню 0,5 від максимального значення вздовж напрямків *X* та *Y* відповідно. В наших експериментах $X_2 = 30$ мкм, $X_1 = -30$ мкм (рис. 5,а), $Y_2 = 120$ мкм, $Y_1 = -130$ мкм (рис. 5,б), тобто ефективна площа $A_{\text{ефф}} = 60 \times 250$ мкм². Якщо порівняти з проектними розмірами 40×230 мкм² фотодіода, то з'ясується, що кожна границя зміщена на +10 мкм. Проте точність визначення границі чутливості визначається як діаметром плями оптичного зонда, так і кроком сканування. В нашому випадку крок сканування 10 мкм занадто великий по відношенню до топологічного розміру 40 мкм в напрямку *X*, і потребує істотного зменшення. В напрямку *Y* точність визначення розміру діода <9%. Зменшення кроку сканування передбачає збільшення часу на вимірювання. Мінімальний крок сканування, який дозволяє зробити наша система дорівнює 1 мкм.

ВИСНОВКИ

Розроблено оптичний зонд для визначення таких параметрів інфрачервоних детекторів як ефективна фоточутлива площа та однорідність фоточутливості по площі. Запропонована оптична схема забезпечує можливість роботи в широкому спектральному діапазоні (0,2–11 мкм) та адаптацію під різні типи

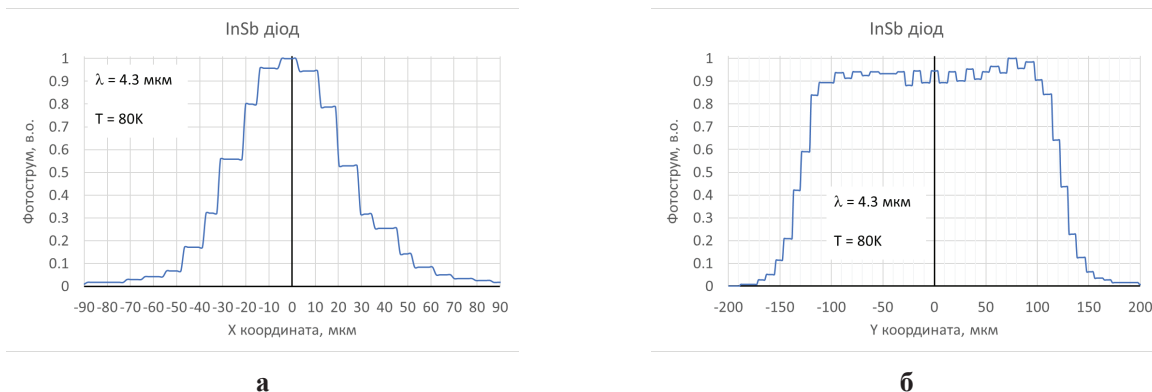


Рис. 5. Розподіл фоточутливості *InSb* фотодіода при скануванні оптичним зондом вздовж *X* (а) та *Y* (б) координати. Топологічні розміри діода 40×230 мкм². Діаметр плями оптичного зонда в фокусі <25 мкм.

фотоприймальних матеріалів (InSb, HgCdTe тощо). Експериментально визначене значення діаметра плями оптичного зонда на довжині хвилі 0,94 мкм (~13 мкм) добре узгоджується з розрахунковим (~9,6 мкм) з урахуванням неідеальності фокусування об'єктива. В середньому та далекому ІЧ-діапазонах ($\lambda = 3\text{--}5$ мкм, 8-12 мкм) визначальним фактором, що формує діаметр плями стає дифракційне обмеження. Запропонована методика дозволяє кількісно оцінювати просторову однорідність фоточутливості ІЧ-детекторів. На прикладі фотодіода InSb (40×230 мкм²) продемонстровано можливість візуалізації розподілу фоточутливості з просторовою роздільною здатністю 20–25 мкм і співвідношенням сигнал/шум понад 350. Розроблений зонд може бути використаний не лише для визначення фоточутливої площі та однорідності по ній фоточутливості, а й для вимірювань коефіцієнта фотоелектричного зв'язку між елементами багатоеlementних ІЧ-матриць, що є важливим для подальшої оптимізації архітектури фокальних багатоеlementних приймальних пристроїв. Отримані результати підтверджують дієвість створеного приладу, який може бути використаний у наукових дослідженнях і метрологічному забезпеченні розроблення та тестування ІЧ-фотодіодів і матричних приймачів у середньому та далекому інфрачервоному діапазоні.

ПОДЯКА

Створення прототипу приладу для визначення коефіцієнта фотоелектричного зв'язку та однорідності чутливості ІЧ фотодіодів, а також результати, опубліковані в статті, були підтримані Національним Фондом досліджень України в 2025 р., проєкт № 2025.06/0089.

Список використаної літератури

- [1]. Rogalski A. *Infrared and Terahertz Detectors*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2019. 1066 p.
- [2]. Muhammad Imran Saleem, Aung Ko Ko Kyaw, Jaehyun Hu. *Infrared Photodetectors: Recent Advances and Challenges Toward Innovation for Image Sensing Applications. Advanced Optical Materials*. 2024. Vol. 12, 2401625. <https://doi.org/10.1002/adom.202401625>
- [3]. Hutsul T., Khobzei M., Tkach V. et al. Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case. *Heliyon*. 2024, 10, e29142. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>
- [4]. Xiang Yu, Yun Ji, Xinyi Shen and Xiaoyun Le. Progress in Advanced Infrared Optoelectronic Sensors. *Nanomaterials*. 2024. Vol. 14, no.10, 845. <https://doi.org/10.3390/nano14100845>
- [5]. Musca C. A., Dell J. M., Faraone L., Bajaj J., Pepper T., Spariosu K., Bruce, C. Analysis of crosstalk in HgCdTe p-on-n heterojunction photovoltaic infrared sensing arrays. *Journal of Electronic Materials*. 1999. Vol. 28, no. 6. P. 617–623. <https://doi.org/10.1007/s11664-999-0044-8>
- [6]. Karp L., Musca C. A., Dell J. M., Faraone L. Characterisation of crosstalk in HgCdTe n-on-p photovoltaic infrared arrays. *Proceedings of the SPIE*. 2004, Vol. 5274. P. 183-193. <https://doi.org/10.1117/12.522217>
- [7]. Yinghui S., Bo, Z., Meifang, Y., Qingjun, L., Yan, Z., Xin, W., Ning, D. Crosstalk of HgCdTe LWIR n-on-p diode arrays. *J. Semicond*. 2009. Vol. 30, no. 9, 094007. <https://doi.org/10.1088/1674-4926/30/9/094007>
- [8]. Bryan L. Olmstead et al, *Spectra-Physics Scanning Systems*, 2000. Method and apparatus for reading images without need for self-generated illumination source. US Patent 6042012.
- [9]. Sapon S. V., Boltovets M. S., Kulbachynskyi O. A., Zabudsky V. V., Golenkov O. G., Korotyeyev V. V., Efremov A. A. Properties of InSb photodiodes fabricated by ion implantation. *SPQEO*. 2024, V. 27, no 3. P. 356-365. <https://doi.org/10.15407/spqeo27.03>

Стаття надійшла до редакції 15.11.2025 р.

PACS: 07.07.Df, 42.79.Ls, 85.60.Dw

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2025.4.343569>

OPTICAL PROBE FOR DETERMINING THE PHOTOSENSITIVITY SURFACE UNIFORMITY OF DETECTORS IN THE IR RANGE

*O. G. Golenkov, A. V. Shevchik-Shekera, V. V. Zabudsky, I. O. Lysiuk, Z. F. Tsybrii,
A. S. Stanislavskyi, S. V. Korinets, A. Yu. Shekera*

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the NAS of Ukraine,
41 Nauky Ave, Kyiv, 03680, Ukraine, +38 (044)525 40 20,

e-mail: golenkov@isp.kiev.ua, shevchik-shekera@isp.kiev.ua, zv1968@yahoo.com, lysiuk@isp.kiev.ua,
tsybrii@isp.kiev.ua, anstan1939@gmail.com, vsekori@yahoo.com, andrii.shekera@isp.kiev.ua

Abstract. The design of the optical probe is proposed for measuring the parameters of infrared detectors, such as the effective photosensitive area, the uniformity of photosensitivity over the surface, and the photoelectric coupling coefficient. The spot diameter of the optical probe is experimentally and theoretically estimated, and the optical probe is tested for determining the uniformity of photosensitivity over the surface of an InSb photodiode at a wavelength of 4.3 μm .

Keywords: optical probe, infrared range, effective photosensitive area, photosensitivity uniformity, photoelectric crosstalk coefficient