

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ GaAs СПОЛУК В МОДУЛЯХ ОРІЄНТАЦІЇ ОРБІТАЛЬНИХ МЕТЕОСУПУТНИКІВ

Крапивко Г. І., к.т.н., доцент Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: krgniv@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8165-1213.

За допомогою позиційно-чутливих фотоприймачів (ПЧФ) на базі сполук GaAs можна безконтактним способом дистанційно реєструвати процеси переміщення та керувати ними. Типовим прикладом застосування є реєстрація переміщення або вібрації будь-якої конструкції, за допомогою сонячного променя або лазера, що спрямовується на датчик. Відхилення променя від центру датчика внаслідок переміщення або вібрації може бути виміряно з великою точністю $0,5^\circ$. Це дуже важливо в концентраторних енергетичних системах, виготовлених за допомогою лінз А. Fresnel. Плюси цієї технології беззаперечні ($400\text{W}/\text{m}^2$), але точність нормалі сонячного випромінювання 5° , далі різке падіння ефективності. У концентраторних космічних системах, додатково дуже важлива робоча $t^\circ = -200 + 400^\circ\text{C}$. Для реєстрації переміщень або вібрації різних механізмів – звичайно у досліджуваному місці механізму встановлюють світлодіод (випромінювач світла), випромінювання якого фокусується на середину ПЧФ, так що сигнал з датчика без вібрації (механізм вимкнений) дорівнює 0. Як тільки світло починає переміщатися з-за переміщення або вібрації механізму, сигнал з ПЧФ виявляється пропорційним до рівня вібрації механізму, який можна оцінювати при різних режимах роботи. Метою даної роботи є дослідження порівняльних характеристик можливості використання одно та двокоординатних фотоприймачів на основі з'єднань GaAs (на відміну від CdSe та CdS) у модулях орієнтації штучних метеосупутників Землі, щоб унеможливити вихід з ладу відикону фотореєстратора.

Ключові слова: супутникові метеорологічні системи; GaAs; фотоприймачі; орієнтація.

DOI: 10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.096-106

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Запущений у березні 2022 р. метеорологічний супутник GOES-17 мав проблему – інфрачервона камера нового покоління працює лише частково через те, що погано охолоджується. Одна команда інженерів NASA намагалась скоротити періоди неповної працездатності, а друга – встановити причину проблеми. Обидві завдання важливі, тому що аналіз телеметрії попередника, GOES-16, показав, що там також є ознаки ненормальної роботи системи охолодження, і схоже, четверте покоління метеорологічних супутників GOES 18, 19, 20 зіштовхнуться із такою ж системною проблемою [1]. Рішення спеціалістів NASA веде до збільшення охолодження відикону. Це одне із правильних рішень. Однак ідея цього дослідження полягає у виявленні причин попаданні сонячної корони на навантаження (основну камеру метеосупутника, рис.1). У даному випадку розглядається розподіл осі відеокамер від нормалі роботи сонячних батарей, за рахунок позиційно чутливих датчиків на основі сполук GaAs.

Одним із перспективних розробок є напрямок досліджень технології виробництва оптико-електронних датчиків кутової швидкості обертання (КШО) та кутового переміщення. Основними вимогами до таких датчиків є висока чутливість, точність, компактність та економічність. Для вимірювань малих кутових швидкостей з високою точністю створені гіроскопи різних типів, найбільш високочутливими є гіроскопи на ефекті Саньяка [2].

Оптико-електронні позиційно-чутливі фотоприймачі (ПЧФ) мають найбільш високу чутливість до зміщення світлового променя. Вони з високою точністю до декількох мікрометрів дозволяють реєструвати переміщення оптичного сигналу робочої поверхні фотоприймача. Це дозволяє застосовувати оптико-електронні ПЧФ в системах прецизійного контролю переміщень і використовувати при малому зміщенні оптичних елементів конструкції, що для вимірювання за допомогою інших фотоприймачів може бути джерелом похибки [3]. Вони незамінні там, де немає можливості використовувати механічні датчики та датчики, засновані на інших принципах.

Основною метою даної роботи є отримання методом порівняння вольт-амперних характеристик та дослідження можливості використання одно та двокоординатних

фотоприймачів на основі з'єднань GaAs (на відміну від CdSe та CdS) в модулях орієнтації штучних метеосупутників Землі.

1. Принципи побудови сучасних позиційно – чутливих фотоприймачів (розв'язання задач для забезпечення досягнення поставленої мети).

Існують фотоприймачі, за вихідним сигналом, яких визначають координату світлової плями на фоточутливому майданчику приймача. Існують ПЧФ на основі фотодіодів (ФД), фоторезисторів, фототріодів, фототиристорів і т. ін. За кількістю елементів ПЧФ поділяються на одноелементні та багатоелементні. Далі будуть розглядатися переважно багатоелементні фотоприймачі, зважаючи на їх більшу чутливість у порівнянні з одноелементними. Позиційно-чутливі фотоприймачі застосовуються у багатьох галузях науки та техніки. Вони дозволяють визначати положення променя світла або об'єкта, що дає можливість створювати на основі датчиків для вимірювання різних фізичних параметрів. Багатоелементні ПЧФ поділяються на однокоординатні (лінійні) та двокоординатні (матричні) [4].

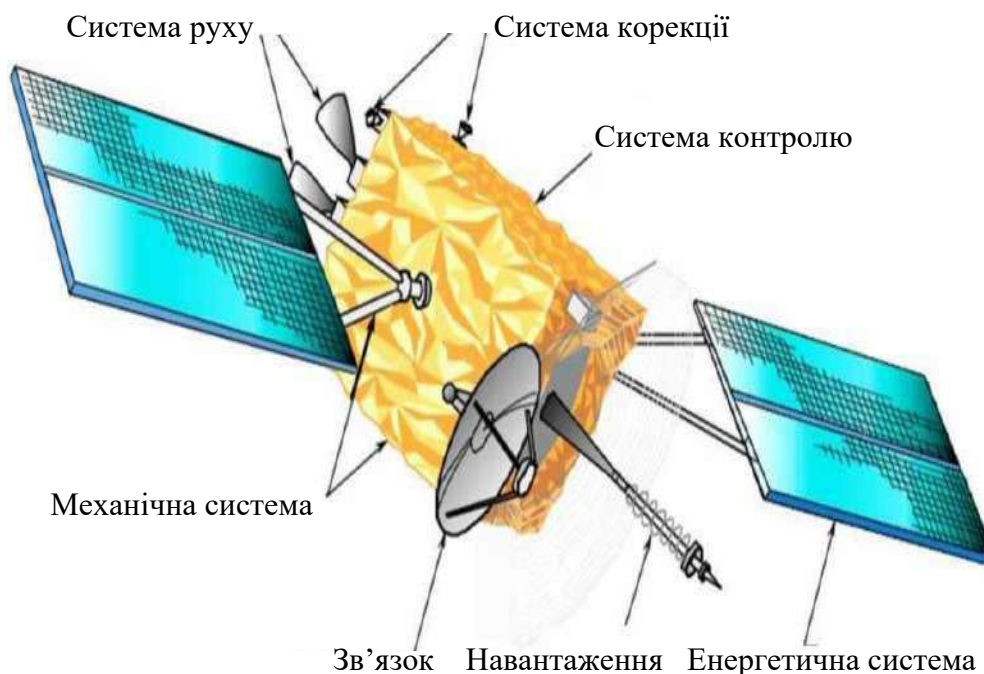


Рисунок 1 – Розміщення вузлів та агрегатів на наносупутнику NOAA (національної метео системи США) морської метео системи

1.1 Однокоординатні позиційно-чутливі фотоприймачі

Однокоординатні ПЧФ застосовують для контролю положення світлового променя в одному напрямку. Вони характеризуються швидкодією, простотою обробки вихідних даних. Широке застосування знайшли фотодіодні ПЧФ, як суцільні, так і лінійки фотодіодів; лінійки приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ):

1.1.1 ПЧФ на основі кремнієвого P-i-N фотодіоду

Крім ПЧФ на p-n-переходах існують кремнієві фотодетектори і на p-i-n-переходах [5].

Величина фотоструму пропорційна відстані між положенням падаючого на поверхню детектора променя і електродами, що знімають напруги. Роздільна здатність положення плями залежить від внутрішніх шумів ПЧФ і від оптичної зашумленості поверхні детектора.

Переваги монолітних напівпровідникових ПЧФП перед дискретними (ПЗЗ-лінійками матрицями або фотодіодними лінійними детекторами) полягають у тому, що [6]:

- можливе забезпечення цифрового, тривалого виміру положення променя, що освітлює поверхню;
- відсутні нечутливі зони, бо немає меж між елементами;
- вони мають високу швидкість імпульсного відгуку;
- мають простішу систему електронної обробки сигналу.

1.1.2 Фотодіодні лінійки

На сучасному ринку напівпровідникових приладів виставлено кілька рядів кремнієвих ФД-лінійок [7]:

Фотодіоди на основі кремнію: OSRAM BP104FS, BP104FASR. Розмір одного з елементів становить $0,9 \times 3$ мм, міжелементний зазор – 0,3 мм. Прилади можуть працювати у фотогальванічному режимі або фотодіодному. Конструкція приладів як друкованої плати.

VISHAY BPV10, BPW20RE. Цей ряд представлений багатоелементними кремнієвими фотодіодами з числом елементів 36 і розміром кожного $0,7 \times 5$ мм з міжелементним зазором 0,1 мм. Довжина лінійки 28,8 мм. Прилад виконаний у вигляді прямокутного корпусу з перпендикулярно розташованим жорсткими висновками; Маса 10 г.

1.1.3 Лінійки ПЗЗ

Спрощено ПЗЗ можна розглядати як матрицю близько розташованих метал-діелектрик-провідник (МДП) – конденсаторів. МДП-структури навчилися отримувати наприкінці 50-х [8]. Були знайдені та розвинені технології, які забезпечували низьку щільність дефектів та домішок у поверхневому шарі напівпровідника. Тим самим вже через 10 років було закладено передумови для винаходу приладів із зарядним зв'язком. У 1970 році були створені перші прилади із зарядовим зв'язком, в яких технологія твердотільних приймачів виявилася особливо успішною. З 1975 року ПЗС почали активно впроваджуватися як телевізійні світлоприймачі. А 1989 року ПЗС-детектори застосовувалися вже майже у 97% усіх телевізійних приймачів. Для порівняння, 10 роками раніше ПЗЗ були представлені лише двома відсотками.

Квантова ефективність сучасних напівпровідникових приймачів випромінювання сягає 95–98%.

Фізичні принципи роботи. З фізичної точки зору ПЗС цікаві тим, що електричний сигнал у них представлений не струмом або напругою, як у більшості інших твердотільних приладах, а зарядом. За відповідної послідовності тактових імпульсів напруги на електродах МДП-конденсаторів зарядові пакети можна переносити між сусідніми елементами приладу. Тому такі прилади і названі приладами з перенесенням заряду або із зарядним зв'язком [9].

На рис. 2 показана структура одного елемента, лінійного трифазного ПЗЗ у режимі накопичення. Структура складається з шару кремнію р-типу (підкладка), ізолюючого шару двоокису кремнію та набору пластин-електродів. Потенціал одного з електродів більш позитивний, ніж у двох інших, і саме під ним відбувається накопичення заряду. Напівпровідник р-типу отримують додаванням (легуванням) до кристалу кремнію акцепторних домішок, наприклад, атомів бору. Акцепторна домішка створює у кристалі напівпровідника вільні позитивно заряджені носії – дірки. Дірки у напівпровіднику р-типу є основними носіями заряду, вільних електронів там дуже мало. Якщо тепер подати невеликий позитивний потенціал на один із електродів осередку трифазного ПЗЗ, а два інших електроди залишити під нульовим потенціалом щодо підкладки, то під електродом з найбільш позитивним потенціалом утворюється область, збіднена основними носіями – дірками. Вони будуть відтіснені углиб кристала. Мовою енергетичних діаграм це означає, що під електродом формується потенційна яма.

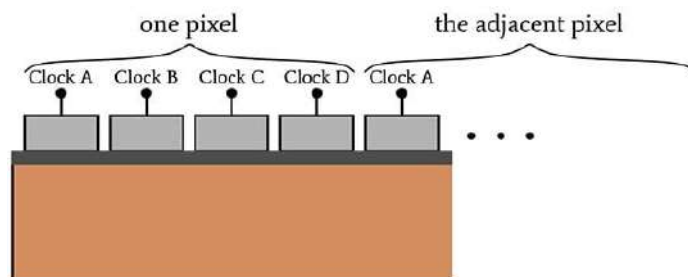


Рисунок 2 – Елемент трифазного ПЗЗ

В основі роботи ПЗЗ лежить явище внутрішнього фотоэффекту, що полягає в тому, що при поглинанні кремнієм фотона, у напівпровіднику генерується пара носіїв заряду – електрон та дірка. Під дією електростатичного поля в області пікселя (one pixel) відбувається "розпад" цієї пари, дірка витісняється в глиб кремнію (clockA-clockD). Неосновні носії заряду, електрони, накопичуватимуться у потенційній ямі під електродом, до якого підведено позитивний потенціал. Тут вони можуть зберігатися досить тривалий час, оскільки дірок у збідненій ділянці немає і електрони не рекомбінують. Носії, згенеровані за межами збідненої області, повільно рухаються – дифундують і, як правило, рекомбінують з гратами, перш ніж потраплять під дію градієнта поля збідненої області.

Носії, згенеровані поблизу збідненої області, можуть дифундувати убік і можуть потрапити під сусідній електрод. У червоному та інфрачервоному діапазонах довжин хвиль ПЗЗ мають дозвіл гірше, ніж у видимому діапазоні, так як "червоні" фотони проникають глибше в кристал кремнію і розвивається зарядовий пакет. Заряд, накопичений під одним електродом, у будь-який момент може бути перенесений під сусідній електрод, якщо його потенціал буде збільшено, тоді як потенціал першого електрода буде зменшено (рис. 3). Перенесення в трифазному ПЗЗ можна виконати в одному з двох напрямків (ліворуч або праворуч, за малюнками). Всі зарядові пакети лінійки пікселів (pixel1-pixel2) будуть переноситися в один і той самий бік одночасно.

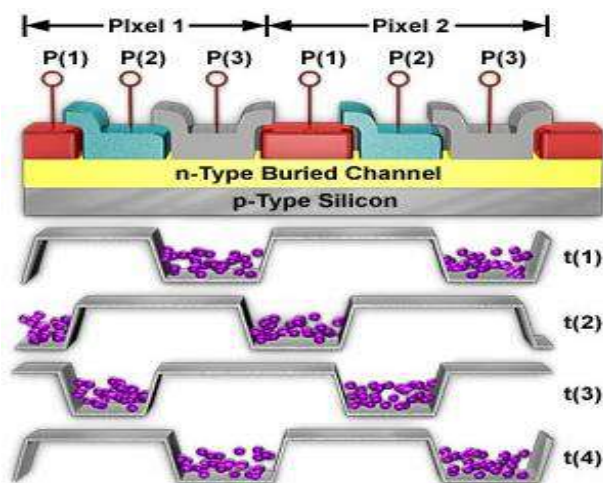


Рисунок 3 – Перенесення зарядів у трифазному ПЗЗ

1.1.4 Дифракційний позиційно-чутливий детектор [10]

Принцип роботи полягає у розкладанні лазерного променя дифракційними гратами на плями діаметром 20 мкм. розмір ПЧФ 3,6×3,0 мм (181×152 ячейки). Визначивши мінімальне та максимальне значення номерів дифракційних плям, з високою точністю, можна обчислити положення центру лазерної плями.

1.1.5 ПЧФ на основі плівок з аномальною фотонапругою [11]

Плівки виготовляються термічним випаром напівпровідникових матеріалів у вакуумі і виходять ступінчастими: товщина змінюється від 1 до 2 мкм.

Такі ПЧФ трансформують світловий потік у три етапи:

- 1) створення фотоструму за рахунок фотогенерації та просторового поділу нерівноважних носіїв на кожному мікро р-п-переході;
- 2) виникнення елементарної напруги на мікро р-п-переходах у результаті накопичення об'ємних зарядів, створюваних фотострумом;
- 3) формування аномально великої фотонапруги шляхом підсумовування елементарних фото-напруг на мікро р-п-переходах.

Падаючий потік при зміщенні генерує фото-напругу, яка змінюється обернено пропорційно зміні товщини плівки від 1 до 2 мкм [12]. Для ПЧФ на основі CdTe-плівки: чутливість 2–5 В/мм при освітленості 10 лк; внутрішній опір 10^{12} – 10^{14} Ом; постійна часу

0,8–1,0; спектральний діапазон 0,5–0,83 мкм; розмір, чутливий майданчик, 2×15 мм; габарити 2×2×20 мм; маса трохи більше 3 г.

1.1.6 Мультискан

Коротко можна відзначити, що принцип роботи полягає в реєстрації напруги, що відповідає координаті медіани інтенсивності випромінювання, що падає на чутливий майданчик ПЧФ.

1.1.7 Аналоги мультискану

З імпортованих аналогів мультискану відомі прилади фірми Hamamatsu C: Модель S3270 (Hamamatsu C). В інституті вугільної промисловості SB RAS та TDI SIE RAS створили прототип багатоканального оптоелектронного вимірника поздовжньої деформації для свердловин [13]. Позиційно-чутливий датчик прикріплюється до породи та може вільно пересуватися вздовж бруса (рис. 4). Позиційний сенсор заснований на електронному фоточутливому пристрої S3270-TIna, виробленому Hamamatsu, з чутливим шаром і електродами. Довжина фоточутливого шару фотоприймача становить 40 мм. При цьому установка, описана в [12], має наступні характеристики: діапазон вимірювань ±17,5 мм; помилка виміру ± 0,02 мм (похибка дорівнює 0,05%).

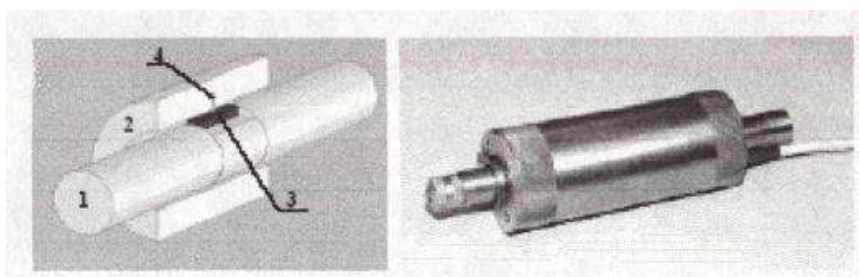


Рисунок 4 – Схема ПЧФ: 1 – вставка, 2 – рухомий вкладиш, 3 – фотодетектор, 4 – LED (ліворуч); позиційний детектор (праворуч)

Рухливий вкладиш 2 монтується на вставку 1 з можливістю поздовжнього переміщення. Поточне положення вкладки по відношенню до вставки визначає положення світлової плями на фотодетекторі. Така конструкція дозволила мінімізувати розмір сенсора, спростити процес монтажу приладу, знизити його масу та проводити вимірювання у всіх напрямках.

Розроблена вимірювальна система забезпечує автоматичний вимір поздовжнього зміщення та деформації, наприклад, у каменях, що використовується у вугільній промисловості.

Автори роботи [14] отримали аналітичний вираз, за допомогою якого показали, що визначення координати в статичному режимі можливе з похибкою 0,03%. А експериментальна перевірка отриманої формули дала значення похибки 0,025%. Обчислювані координати виявилися інваріантними до зміни сумарної потужності падаючого випромінювання.

1.2 Двокоординатні позиційно-чутливі фотоприймачі

1.2.1 Чотирьох елементний фотодіод

Найпростіший багатовіелементний приймач випромінювання – розрізний ФД – є платівкою з р-п-переходом, розділену на 4 частини з проміжком 1–500 мкм. Виготовлені методом фотолітографії чотириелементні ФД дають рівномірну позиційну характеристику і дозволяють зблизити майданчики окремих фотодіодів до 20–50 мкм.

Вихідний сигнал описується виразами (1, 2, 3):

$$V_x = V_{n,x} - V_{m,x} = I_{n,x}R_{n,x} - I_{m,x}R_{m,x}; \quad V_y = V_{n,y} - V_{m,y} = I_{n,y}R_{n,y} - I_{m,y}R_{m,y} \quad (1)$$

де m, n – номери елементів ФД; R – опір, розташований уздовж відповідної осі; x, y – координати центру освітленої зони. Вихідний сигнал залежить від форми плями. Так, для

квадратного перерізу променя, що повністю потрапляє на робочу поверхню ФД, якщо діагоналі квадрата паралельні осям координат, при $R_1 = R_2 = R$;

$$V_x = -2\sqrt{2}RIS_1\Phi \cdot x \quad V_y = -2\sqrt{2}RIS_1\Phi \cdot y \quad (2)$$

де x, y – координати центру світлової плями; R_1 – діаметр плями.

При круглому перерізі променя та тих же додаткових умов:

$$V_x = \frac{4RS_1\Phi}{\sqrt{2\pi}} \left[(x+y)\sqrt{l^2 - 0,5(x+y)^2} + (x-y)\sqrt{l^2 - 0,5(x-y)^2} + \sqrt{2l^2} \left\{ \arcsin \frac{(x+y)\sqrt{2}}{2l} + \arcsin \frac{(x-y)\sqrt{2}}{2l} \right\} \right] \quad (3)$$

Вираз для V_y отримують заміною x на y та y на x . Лінійність сигналу дотримується при $x, y < l$.

1.2.2 Матричний ПЧФ на P-N-переходах

Існує позиційно-чутливий детектор [15], принцип дії якого заснований на реєстрації порівнянні фотострумів з обох боків від світлового променя, що падає на чутливий майданчик. Сам детектор є матрицею з 16 квадратних елементів загальним розміром 2×2 мм і розміром кожного елемента 500×500 мкм. Спектральний діапазон фотоприймача 400–950 нм, пік спектральної чутливості дорівнює 500 мА/Вт і припадає на $\lambda = 800$ нм, час відгуку становить 8 нс. Загальна нелінійність не перевищує 1% по всій поверхні відстаней.

2. Основні результати та їх обговорення. Опис запропонованого ПЧФ та порівняння з ПЧФ CdSe, CdS [16,17]

Усі вище зазначені прилади працювали в умовах ближнього космосу, але мали вихід з ладу або скорочений термін праці. Тому розглядаємо можливість застосування в цих умовах наступних ПЧФ.

Позиційно-чутливі фотоприймачі GaAs створюються як з урахуванням поздовжнього (ефект Уолмарка), і поперечного фотоелектрив. Схеми ПЧФ з поздовжнім (а) та поперечним (б) фотоелектривом зображені на рис. 5 (а, б).

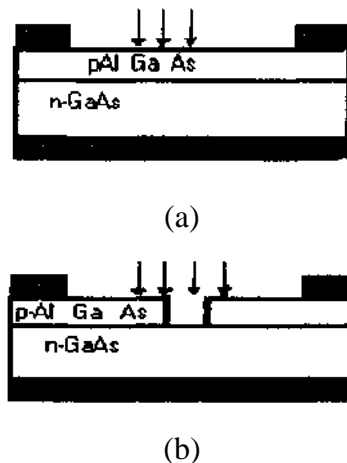


Рисунок 5 – Схеми ПЧФ з поздовжнім (а) та поперечним (б) фотоелектривом

ПЧФ є підкладкою з n-GaAs. На поверхні підкладки методом рідинної епітаксії з обмеженого розчину-розплаву вирощений епітаксійний шар p-Al_{0,7}Ga_{0,3}As. З метою створення надійного омичного контакту до твердого широкозонного розчину, на його поверхні вирощений шар p-GaAs. Методами фотолітографії та селективного травлення p-GaAs видаляється зі світлочутливої поверхні. На p-GaAs осаджуються лінійчасті контакти, але в n-область – суцільний контакт.

Розмір вихідного сигналу між контактами до p-області лінійно залежить від координати центру світлової плями. Використання гетеропереходів у широкозонних напівпровідниках дозволяє з одного боку зменшити j_s до значень $\sim 10^{13}$ А/см², що разом з можливістю управління питомим опором твердого розчину Al_xGa_{1-x}As дозволяє отримувати

у поздовжніх фотоелементах високе значення крутизни лінійності позиційної характеристики (ПХ), а з іншого боку, значно розширити діапазон робочих температур ПЧФ у порівнянні з наявними закордонними аналогами (наприклад, датчиком положення S1352 фірми Hamamatsu). Змінюючи концентрацію x твердого розчину $Al_xGa_{1-x}As$, що є, по суті, широкозонним вікном для світла, можна ефективно керувати шириною спектрального діапазону ПЧФ. На рис. 6 приведена конструкція лабораторного стенду.



Рисунок 6 – Лабораторний стенд

Технічні характеристики:

Лінійність позиційної характеристики (%).....	0,1
Діапазон робочих температур (°C).....	-200+400
Спектральний діапазон (мкм).....	0,6-0,86
Розміри корпусу датчика (мм).....	10×14×20
Точність позиціонування (мкм).....	5

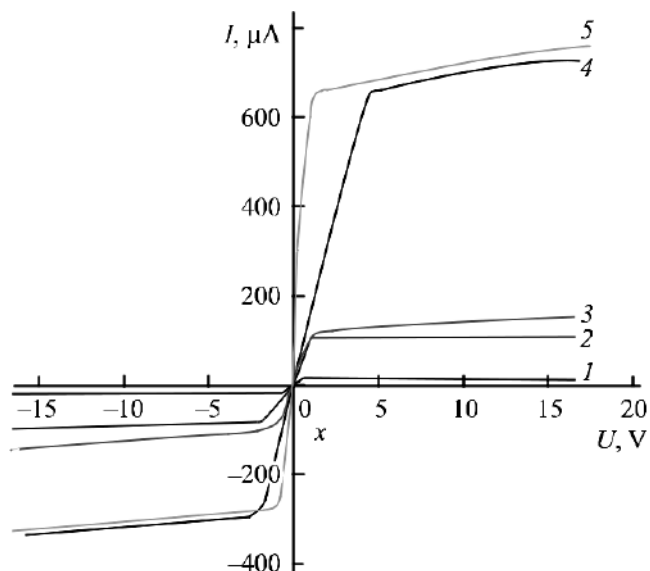


Рисунок 7 – Вольт-амперні характеристики ПЧФ кут зміщення 1° ;
(1- n-CdS; 2, 3 -n- CdSe; 4,5-n-GaAs)

Фотоприймач змонтований на мідному компенсаторі, припаяному до металізованої діелектричної пластини, і розміщений у циліндричному корпусі з поворотним механізмом, на валу якого розміщений діелектричний диск з лазерним ІЧ-діодом. ІЧ-діод зафіксований щодо фотоприймача. Максимальний кут ІЧ-діода щодо контакту ПЧФ становив 1° .

Експериментально досліджено вольт-амперні характеристики (ВАХ) ПЧФ: 1- n-CdS; 2,3- n-CdSe; 4,5- n-GaAs, (рис.7). При цьому ІЧ-лазерний діод випромінював на довжині хвилі 780 нм. Струм накачування лазера дорівнює 100 mA, діаметр променя на поверхні ПЧФ становив 1 mm. Довжина світлочутливої області фотоприймача становила $L = 14,0$ мм. Темновий струм становив 2 А і відношення фотоструму до темного струму $I_{ph}/I_d \sim 1000$. Живлення ПЧФ здійснювалося від високостабільного блоку живлення. Вимірювання проводились вольтметром В7–40А. Погрішність виміру становила 0,5%. Напруга живлення між електродами ПЧФ становило $U_{12} = 24V$. ВАХ ПЧФ отримані при подачі напруги між контактами (рис. 5, 6) і вимірювання струму, що протікає через два зустрічно-последовні р-п-переходи. З рис. 7 видно, що при освітленні фоточутливої області ПЧФ ВАХ залишається практично незмінною, тобто фотострум у структурі не залежить від координати світлової плями. Але система n- GaAs має найліпші показники.

Таким чином, результати роботи показують можливість створення позиційно-чутливого фотоперетворювача кута повороту на основі напівпровідникових позиційно-чутливих фотоприймачів. Такі перетворювачі мають лінійну залежність вихідного сигналу від кута, високу точність визначення кута (у розробленій конструкції, за розрахунком – $0,7^\circ$), високу надійність (твердотільна конструкція), а також сумісність з будь-якою вимірювальною, погоджувальною та обробною апаратурою. При цьому, як джерело випромінювання може бути використаний напівпровідниковий лазер (лазерний діод), промінь якого проектується на поверхню фотоприймача, у тому числі за допомогою оптичних волокон.

Висновок. У цій роботі було досліджено однокоординатні та двокоординатні фотоприймальні пристрої. Основними вимогами до таких датчиків є висока чутливість, точність, компактність та економічність. Оптико-електронні фотоприймальні пристрої на базі n-GaAs мають найвищу чутливість до зміщення світлового променя. Вони з високою точністю до декількох мікрометрів дозволяють реєструвати переміщення оптичного сигналу робочої поверхні фотоприймача. Це дозволяє застосовувати оптико-електронні фотоприймальні пристрої, на базі сполук n-GaAs, у системах прецизійного контролю переміщень та використовувати при малому зміщенні оптичних елементів конструкції. Відіокони в данному випадку більш захищені від коронарних викидів Сонця.

Для цього дослідження було створено стенд для проведення калібрувальних випробувань, до складу якого входять поворотна платформа та імітатор Сонця, а також розроблено програмне забезпечення для проведення експериментальних досліджень у автоматичному режимі. Основною вибрано модель вимірювань датчика на основі геометричних співвідношень та на основі поліноміальної залежності напрямку на Сонце від координат сонячної плями на кристалі.

У роботі експериментально вивчено вольт-амперні характеристики ПЧФ, виготовлених на основі епітаксійних шарів – n-GaAs. Проведено теоретичний аналіз позиційної чутливості фотоприймачів n-GaAs на основі елементарної теорії токопротікання. Встановлено, що характеристики координатної чутливості ПЧФ – n-GaAs корелюють з експериментальними залежностями за формою кривих та становищем максимумів. Визначено питому спектральну чутливість фотоприймача – n-GaAs. За рівних умов збудження вона в 12 разів перевищує чутливість ПЧФ, виготовлених на основі n-CdS, та 10 разів перевищує чутливість ПЧФ, виготовлених на основі n-CdSe [16, 17], що свідчить про безперечну перспективність ПЧФ на основі шарів арсеніду галію. Про перспективність шарів n-GaAs свідчить і висока питома координатна чутливість, що важливо для виявлення можливостей використання ПЧФ n-GaAs у штучних космічних супутниках Землі.

Перспективи подальших досліджень.

Наступним етапом цієї роботи є комплексне дослідження сонячного датчика на основі сполук АЗВ5. Для цього дослідження було створено стенд для проведення калібрувальних випробувань, до складу якого входять поворотна платформа, а також розроблено програмне забезпечення для проведення натурних експериментів у автоматичному режимі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. GOES-R Series website: <https://www.goes-r.gov/users/GOES-17-ABI-Performance>; 2022.
2. Чіковані В. В. Волоконно-оптичний гіроскоп в порівнянні з коріолісови вібраційним гіроскопом. Військово-технічний збірник, (10), 2014. с 78–82.
3. Богатирьова В. В. Оптичні виміри в неінерційних системах відліку // Науково-технічний вісник СПБГУІТМО, 2010. Т. 65. №1.
4. Angelsky O. V., Maksymyak P. P., Zenkova S. Y., Maksymyak A. P., Hanson S. G., Ivanskyi D. D., “Peculiarities of control of erythrocytes moving in an evanescent field”, (2019) Journal of Biomedical Optics, 24 (5), 055002.
5. Нурдінова Р. А. Інтернет-науковий форум молодих вчених, докторантів та дослідників. Дослідження позиційно-чутливих датчиків для визначення положень об'єктів, 2023. – С. 84–85. ТАТУФФ-ЕРАІ.
6. Спосіб обробки поверхні монокристалу кремнію Патент на винахід. 3412 Україна МПК7H01L21/00/Крапивко Г. І.; заявник і патентовласник Херсонський державний технічний університет. № 2004021333; заявл. 24.02.04 ; опубл. 15.11.04, Бюл. № 11.
7. Development of diode temperature sensors with operating range up to 750 K. Hennadiy Kravnyk Oleksii Demenskyi Vol 3, №5(93). – 2018. – P.19–26 // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (SciVerse Scopus).
8. Бірюков Е. Еволюція датчиків зображення: від ПЗЗ до КМОП // Компоненти та технології, 2007. № 10 С. 56–59.
9. Вимірювальні перетворювачі систем оптичної діагностики з багато функціональними фотоприймачами / Р. І. Воробей, О. Гусев, А. І. Свистун, А. К. Тявловський, К. Л. Тявловський, Л. І. Шадурська // Прилади та методи вимірювань, 2018. № 3. – С. 215–226.
10. Andrés Márquez, Francisco J. Martínez-Guardiola, Jorge Francés, Cristian Neipp, Manuel G. Ramírez, Eva M. Calzado, Marta Morales-Vidal, Sergi Gallego, Augusto Beléndez, Inmaculada Pascual, “Analytical modeling of blazed gratings on two-dimensional pixelated liquid crystal on silicon devices,” Optical engineering 59(4), 041208(2020).
11. Методичні вказівки щодо самостійної роботи студентів з дисципліни “Компоненти мікро та нанотехніки” для студентів спеціальності 176 «Мікро та наносистемна техніка». / Уклад.: Паламар М. І., М. О. Стрембіцький. – Тернопіль: ТНТУ 2023 – 12 с.
12. Патент РФ № 2246779, МПК H01L31/09, "Координатно-чутливий приймач оптичного випромінювання" Рахімов Н. Р., Серйознов О. М., пріоритет від 03.11.2003, опубліковано 20.02.2005.
13. Chugui Yu. V., Verkhogliad A. G., Potashnikov A. K., Finogenov L. V., Makarov S. N. Optical-electronic measuring systems for scientific and industrial applications // ОМПІ, 2007. С. 26–38.
14. Нурдінова Р. А., Алімжонова А. Ш. Нові аспекти застосування елементів аномальними фотовольтаїчними напругами, Науково-технічний журнал «Фізика напівпровідників та мікроелектроніка», ISSN: 2181-9947, DOI 10.37681/2181-9947-2019-4, С. 49–55.
15. Photonics Rules of Thumb, Third Edition Author(s): John Lester Miller; Edward J. Friedman; John N. Sanders-Reed; Katie Schwertz; Brian K. McComas SPIE PRESS BOOK 2020 P. 740.
16. Чукіта В. І., Сенокосов Е. А., Феценко В. С. Стенд для дослідження позиційно-чутливого фотоприймача // Технологічний журнал. 2019. Т. 7. № 3. С. 69–76. DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-3-69-76.
17. Використання квантових точок на основі CdSe/CdS/ZnS в компланарних ємнісних структурах для оптичних датчиків газових середовищ С. А. Павлов, А. С. Павлов, Є. Ю. Максимова, А. В. Алексеєнко, А. В. Павлов, Є. М. Антипов // Прикладна фізика, 2018. №3 С. 27–33.

REFERENCES

1. GOES-R Series website: (2022). <https://www.goes-r.gov/users/GOES-17-ABI-Performance>.
2. Chikovani, V. V. (2014). A fiber-optic gyroscope compared to a Coriolis vibration gyroscope. *Military and technical collection*, (10). P.78–82.
3. Bogatyreva, V. V. (2010). Optical measurements in non-inertial frames of reference // *Scientific and technical bulletin of SPbGUITMO*. Vol. 65. No. 1.
4. Angelsky, O. V., Maksymyak, P. P., Zenkova, C. Y., Maksymyak, A. P., Hanson, S. G., Ivanskyi, D. D. (2019). “Peculiarities of control of erythrocytes moving in an evanescent field”, *Journal of Biomedical Optics*, 24 (5), 055002.
5. Nurdinova, R. A. Online scientific forum of young scientists, doctoral students and researchers. Research of position-sensitive sensors for determining the positions of objects, 2023. – P. 84–85. TATUFF-EPAI.
6. The method of processing the surface of a silicon single crystal Patent for the invention. (2004). 3412 Ukraine MPK7H01L21/00 / G. I. Krapyvko; applicant and patent owner Kherson State Technical University. No. 2004021333; statement 24.02.04; published 15.11.04, Bul. No. 11.
7. Development of diode temperature sensors with operating range up to 750 (2018). K. Hennadiy Krapyvko Oleksii Demenskyi Vol 3, №5(93). – P. 19–26 // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (SciVerseScopus)*.
8. Biryukov, E. (2007). Evolution of image sensors: from CCD to CMOS // *Components and Technologies*. No. 10 P. 56–59.
9. Measuring converters of optical diagnostic systems with multifunctional photodetectors / R. I. Vorobey, O. K. Gusev, A. I. Svistun, A. K. Tyavlovsky, K. L. Tyavlovsky, L. I. Shadurskaya // *Instruments and measurement methods*, 2018. No. 3. – P. 215–226.
10. Andrés Márquez, Francisco J. Martínez-Guardiola, Jorge Francés, Cristian Neipp, Manuel G. Ramírez, Eva M. Calzado, Marta Morales-Vidal, Sergi Gallego, Augusto Beléndez, Inmaculada Pascual, (2020). “Analytical modeling of blazed gratings on two -dimensional pixelated liquid crystal on silicon devices,” *Optical engineering* 59(4),041208, doi: 10.1117/1.OE.59.4.041208.
11. Methodological guidelines for independent work of students from the discipline "Micro- and nanotechnology components" for students of specialty 176 "Micro- and nanosystem technology". / Compiler: M. I. Palamar, M. O. Strembitskyi. – Ternopil: TNTU 2023 – 12 p.
12. Patent of the Russian Federation No. 2246779, IPC H01L31/09, "Coordinate-sensitive receiver of optical radiation" Rakhimov N. R., Seryoznov O. M., priority from 03.11.2003, published 20.02.2005.
13. Chugui, Yu. V., Verkhogliad, A. G., Potashnikov, A. K., Finogenov, L. V., Makarov, S. N. (2007). Optical-electronic measuring systems for scientific and industrial applications // *OMIP*. P. 26–38.
14. Nurdinova, R. A., Alimzhonova, A. Sh. New aspects of the use of elements with anomalous photovoltaic voltages, *Scientific and technical journal "Physics of semiconductors and microelectronics"*, ISSN: 2181-9947, DOI 10.37681/2181-9947-2019-4, P.49–55.
15. *Photonics Rules of Thumb, Third Edition* Author(s): John Lester Miller; (2020). Edward J. Friedman; John N. Sanders-Reed; Katie Schwertz; Brian K. McComas SPIE PRESS BOOK P. 740.
16. Chukita, V. I., Senokosov, E. A., Feshchenko, V. S. (2019). The stand for research of positional-sensitive photosensor// *Technological Journal*; 7(3) P.69–76. DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-3-69-76.
17. The use of quantum dots based on CdSe (2018). / CdS / ZnS in coplanar capacitive structures for optical sensors gas environments S. A. Pavlov, A. S. Pavlov, E. Yu. Maksimova, A. V. Alekseenko, A. V. Pavlov, and E. M. Antipov // *Applied physics*, No.3. P. 27–33.

Крапивко Г. І. EXPEDIENCY OF USING GaAs COMPOUNDS IN ORIENTATION MODULES OF ORBITAL METEOROLOGICAL SATELLITE

A lot of time has passed since the beginning of satellite meteorological studies of weather phenomena on the Earth's surface. The recording systems, data transfer rates, image quality of cyclones, etc. have changed. However, the main problem has not been solved yet: "how to cool the videocon on the shadow side of the Earth, when light quanta directly fall into the focus of the lens.

The topic of this work is the study of the comparative characteristics method of the possibility of using one- and two-coordinate photodetectors based on GaAs compounds (as opposed to CdSe and CdS) in the orientation modules of artificial weather satellites of the Earth in order to prevent the failure of the photo recorder.

The volt-ampere characteristics (VAH) of PCFs were experimentally investigated: n-CdS; n-CdSe; n-GaAs. At the same time, the IR laser diode emitted at a wavelength of 780 nm. The pump current of the laser is equal to 100 mA, the diameter of the beam on the surface of the PCF was 1 mm. The length of the light-sensitive region of the photoreceptor was $L = 14.0$ mm. The dark current was 2A and the ratio of photocurrent to dark current $I_{ph}/I_d \sim 1000$. The power supply of the PFC was carried out from a highly stable power supply unit. Measurements were made with a B7-40A voltmeter. The measurement error was 0.5%. The supply voltage between the electrodes of the PCB was $U_{12} = 24V$. The VAH of the PFC was obtained by applying voltage between the contacts and measuring the current flowing through two counter-series p-n junctions. When the photosensitive area is illuminated, the power factor of the PFC remains practically unchanged, that is, the photocurrent in the structure does not depend on the coordinate of the light spot. But the n-GaAs system has the best performance.

It was established that the characteristics of the coordinate sensitivity of the PCF - n-GaAs correlate with the experimental dependences on the shape of the curves and the position of the maxima. The specific spectral sensitivity of the n-GaAs photodetector was determined. Under equal excitation conditions, it is 12 times higher than the sensitivity of PCFs made on the basis of n-CdS, and 10 times higher than the sensitivity of PCFs made on the basis of n-CdSe, which indicates the indisputable promise of PCF based on gallium arsenide layers. The promising nature of n-GaAs layers is also evidenced by the high specific coordinate sensitivity as well as the operating temperature limit $-200+400^{\circ}C$, which is important for identifying the possibilities of using n-GaAs PCFs in artificial space satellites of the Earth.

Key words: satellite meteorological systems; GaAs; position-sensitive photoreceptors; orientation.

© Крапивко Г. І.

Статтю прийнято
до редакції 13.11.2023