

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальністю 171 Електроніка
(код і назва)

освітня програма (спеціалізація) Електронні прилади та пристрої

на тему: Вимірювач ультрафіолетового випромінювання

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ДЕ-91мп
(шифр групи)

БОНДАРЕНКО Роман Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник ст. викл., с.н.с., к.т.н. Тетяна СЕМІКІНА.
(ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент В.о.заступника директора ІФН ім.В.Лашкарьова НАНУ,
зав.відділом, к.ф.-м.н.,с.н.с. Сергій МАМИКІН.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант
по нормоконтролю доц., к.т.н. Лариса БАТРАК _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет Електроніки

(повна назва)

Кафедра Електронних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Освітня програма (спеціалізація) Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) Юлія ЯМНЕНКО
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« ____ » _____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Бондаренку Роману Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Вимірювач ультрафіолетового випромінювання

науковий керівник дисертації Тетяна Семікіна, к.т.н., с.н.с.

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 року № 3241-с

2. Термін подання студентом дисертації «08» грудня 2020 року

3. Об'єкт дослідження ультрафіолетове випромінювання

4. Вихідні дані пристрій для вимірювання ультрафіолетового випромінювання в спектрі 200-520nm на основі матеріалу CdS

5. Перелік завдань, які потрібно розробити експериментальним шляхом, методом термічного осадження, виростити плівку структурної групи на основі матеріалів A2B6; огляд науково-технічної літератури; розробка схеми електричної принципової; виготовлення печатної плати.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу схема електрична принципова, структурна, плата, слайди презентації.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання // Мікросистеми, електроніка та акустика – 2020. – Vol.25. - №2. – С.45-49. 2. Аршан Є. В. Система адаптивного контролю освітлення / Аршан Є. В. Бондаренко Р.І, Калачников О.О., Ямненко Ю.С. //X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва» 13 листопада 2020 р. м. Київ : матеріали конференції. – 2020 – С. 554–563., Є. Аршан, Р. Бондаренко, Т. Семікіна Розробка електронного стенду на основі мікроконтролера для налагодження програм // Матеріали XV міжнародної конференції «Контроль та управління в складних системах» (КУСС-2020), Вінниця, Україна, 8-10 жовтня 2020, Тези доповідей, с.57-58.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 28.10.2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по темі	7 вересня – 13 вересня	
2	Огляд структурних схем існуючих детекторів ультрафіолету	14 вересня – 20 вересня	
3	Розробка блок-схеми детектору	28 вересня – 4 жовтня	
4	Огляд та підбір компонентів детектору	5 жовтня – 11 жовтня	
5	Розробка та моделювання печатної плати	12 жовтня – 18 жовтня	
6	Виготовлення печатної плати	19 жовтня - 25 жовтня	
7	Компонування схеми	26 жовтня – 1 листопада	
8	Програмування детектору	2 листопада – 15 листопада	
9	Оформлення графічної частини, магістерської дисертації, плакатів та доповіді	16 листопада – 7 грудня	

Студент

(підпис)

Роман БОНДАРЕНКО

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Тетяна СЕМІКІНА

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Дана дипломна робота присвячена розробці вимірювача ультрафіолетового випромінювання, в якому використовується розроблений фотодіод на основі поверхнево-бар'єрної структури $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}/n\text{-CdS}$ з фоточутливою складовою на основі сульфїду кадмію CdS.

В роботі представлений огляд науково-технічної інформації про детектори ультрафіолетового випромінювання та матеріали, які використовують для розробки первинних перетворювачів як окремих різновидів приладів та пристроїв, їх основні параметри та характеристики, підтверджена перспективність розробки. Розроблена схема електрична структурна схема електрична принципова та проведено моделювання печатної плати в програмному середовищі KiCad EDA., на основі чого був проведений підбір елементів схеми та компонування. Розроблено програмне забезпечення в програмному середовищі AtmelStudio7. Також був проведений розрахунок собівартості приладу.

Ключові слова: ультрафіолетове випромінювання; детектор ультрафіолету; фотодіод; фотоприймач; кадмій сульфід; аналогово-цифровий перетворювач; мікроконтролер.

ANNOTATION

This thesis is devoted to the developers of ultraviolet radiation meters, in the case of using an updated photographic film based on the surface-bar structure p-Cu_{1.8}S / n-CdS with a photosensitive component based on cadmium sulfide CdS.

The review of scientific and technical information about ultraviolet detectors and materials that provide the development of primary transducers as separate types of devices and devices, their main parameters and characteristics, confirmed by promising development. The scheme of the electric structural scheme of the electric basis is developed and the modeling of the printed circuit board in the KiCad EDA software environment is carried out. Developed software in the AtmelStudio7 software environment. The conversation about ourselves was also expanded.

Key words: ultraviolet radiation; ultraviolet detector; photodiode; photodetector; cadmium sulfide; analog-to-digital converter; microcontroller.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПАХ – поверхнево акустична хвиля
ІТП – інтегрована технологія пристроїв
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ГФ – головка фотометрична;
ГР – радіометрична головка;
ГС – гетероструктура;
ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;
НТД – нормативно-технічна документація;
ОПЗ - область просторового заряду;
ОП – операційний підсилювач;
ТР – твердий розчин;
УФ-А – спектральний діапазон 400 - 315 нм;
УФ-В – спектральний діапазон 315 – 275 нм;
УФ-С – спектральний діапазон 275 - 180 нм;
УФ – ультрафіолетове (випромінення);
ФД – фотодіод;
ФП – фотоприймач;
ФЧЕ – фоточутливий елемент;

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 Детектори ультрафіолету	12
1.1 Характеристики ультрафіолетового випромінювання.....	12
1.2 Класифікація детекторів.....	14
1.3 Вимоги до УФ-детекторів	16
1.4 Напівпровідникові УФ-детектори.....	17
1.5 Оптичні властивості молекулярних кластерів срібла та міді.....	21
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ВИМІРЮВАЧІВ УФ.....	28
2.1 УФ детектор на основі поверхневої акустичної хвилі.....	28
2.2 УФ фотодатчик ПАХ на основі ZnO.....	32
2.3. Плівка ZnO / кварц ST-зрізу для ПАХ УФ-фотодетектору	35
2.4. Плівкові фотодетектори	37
Висновки до розділу 2	41
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ УФ НА ОСНОВІ CDS	43
3.1. Створення технічного завдання на дослідно-конструкторську розробку приладу	43
3.2. Технологія отримання датчика УФ.....	44
3.3. Розробка схеми електрично структурної	49
3.4 Розробка схеми приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання	51
3.5. Розробка печатної плати у програмному середовищі KiCad EDA	53
3.6. Технологічний процес виготовлення плати	54
3.7. Програмне забезпечення приладу у програмному середовищі AtmelStudio7	56

3.8. Принцип роботи приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання	58
3.9. Розрахунок собівартості приладу.....	64
Висновки до розділу 3	65
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	67
4.1 Опис ідеї проекту	69
4.2 Технічний аудит ідеї проекту	71
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	71
4.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	75
Висновки до розділу 4	77
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
Додаток А. Лістинг програмного забезпечення	
Додаток Б. Схема електрична принципова	
Додаток В. Публікації	

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідження потужності ультрафіолетового випромінювання (УФ) є актуальною задачею оскільки ультрафіолетове випромінювання використовується для знезараження води, для створення атмосфери з високим ступенем стерильності при експлуатації в цехах по виготовленню мікросхем, в системах навігації ракет для знищення літаків, тощо [1-4]. Особливо важливе в наш час вимірювати УФ випромінювання в озоновому шарі. При контролі забруднення повітря та води також проводяться виміри УФ. Датчики УФ знаходять нові галузі застосування, до яких відноситься оптична комунікація на УФ випромінюванні, вивчення Сонця та атмосфери в світловому діапазоні 300 – 400 нм, вивчення атмосфери планет та екосфери Марса. Розробка ультрафіолетового нітратного сенсору дозволить створити мапу забруднення океанів, а аерозольного флуоресцентного сенсору - виявити біологічні частки присутні в повітрі [5].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота була виконана в рамках науково-дослідницької теми III-41-17 «Розробка технології виготовлення нових типів ультрафіолетових сенсорів на основі поверхнево-бар'єрних структур вироджених напівпровідник-напівпровідник», яка виконується в інституті фізики напівпровідників ім.В.Лашкарьова.

Мета і завдання досліджень.

Метою роботи є розробка принципової конструкції приладу для виміру УФ опромінення з виготовленням макету цього приладу. Завданням даної магістерської дисертації є: ознайомлення з фізичними явищами (оптичними, акустичними) на основі яких створюють пристрої для виміру УФ, огляд існуючих вимірювачів ультрафіолетового випромінювання за принципом дії; дослідження технологічного процесу виготовлення фотодіодів на основі широкозонних напівпровідникових матеріалів; розробка

вимірювача ультрафіолетового випромінювання на основі розробленого в інституті фізики напівпровідників ім. В.Лашкарьова НАНУ фотодіода на основі селеніду кадмію CdS.

Об'єкт дослідження – ультрафіолетове випромінювання та засоби його вимірювання.

Предмет дослідження – пристрій для виміру УФ опромінення.

Методи дослідження: для отримання інформації про технологічні режими, за якими проводиться процес виготовлення чутливої до УФ гетеро структури застосовується контроль температури за допомогою термопар та тиску - вакуумними вакуумметрами. Контроль чутливості до УФ виконується шляхом виміру спектральних характеристик на приладі СФ-8. Контроль діодних світлових характеристик виконується шляхом виміру темнових та світлових вольт-амперних характеристик із застосуванням мультиметру та блоку живлення, а також джерела світла – сонячного світла, або лампи УФ діапазону.

Наукова новизна одержаних результатів: Вперше розроблено пристрій для виміру УФ із застосуванням фотодіода на основі гетеро структур на основі матеріалів групи А2В6.

Практичне значення одержаних результатів. Пристрій для виміру УФ має різноманітні перспективи застосування: для виміру дози УФ опромінення при лікуванні ракових пухлин, при знезараженні води та обробці сільськогосподарської продукції під час її зберігання, при планетарних дослідженнях в космології, при дослідженні забрудненості океанів.

Особистий внесок здобувача. Магістерська робота була виконана повністю самостійно.

Апробація результатів дисертації. За темою роботи були зроблені виступи на наукових конференціях: 1. На XV міжнародній конференції «Контроль та управління в складних системах» (КУСС-2020), Вінниця,

Україна, 8-10 жовтня 2020, 2. X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва» 13 листопада 2020 р. м. Київ.

Публікації. 1. Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання // Мікросистеми, електроніка та акустика – 2020. – Vol.25. - №2. – С.45-49. DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.199843>. 2. Аршан Є. В. Система адаптивного контролю освітлення [Електронний ресурс]/ Аршан Є. В. Бондаренко Р.І, Калачников О.О., Ямненко Ю.С. //X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва» 13 листопада 2020 р. м. Київ : матеріали конференції. – 2020 – С. 554–563. – Режим доступу: https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/11/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_11_13_tczy.pdf.; 2.Є. Аршан, Р. Бондаренко, Т. Семікіна Розробка електронного стенду на основі мікроконтролера для налагодження програм // Матеріали XV міжнародної конференції «Контроль та управління в складних системах» (КУСС-2020), Вінниця, Україна, 8-10 жовтня 2020, Тези доповідей, с.57-58. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30559> <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/30559/10670-38056-1-RV.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Структура та обсяг дисертації. Магістерська дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку літератури з 85 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг роботи - 108 сторінок, яка містить 28 рисунків та 22 таблиці.

1 ДЕТЕКТОРИ УЛЬТРАФІОЛЕТУ

1.1. Характеристики ультрафіолетового випромінювання

Нижню межу УФ-діапазону (30-80 нм) зазвичай пов'язують з мінімально досяжною довжиною хвилі в спектрі випромінювання УФ-джерел на основі гелієвих ламп (лінії He^{+2} , довжина хвилі 30,4 нм) [6]. З розвитком в 90-і роки промислових фотолітографічних технологій на довжині хвилі 13,5 нм, поняття "глибокий" УФ було поширене від нижньої межі $\lambda = 30$ нм далеко в короткохвильову частину спектру, раніше звану "м'який рентгенівський діапазон", тобто $\lambda = 10$ нм.

В УФ-діапазоні зазвичай виділяють три частини:

- довгохвильовий, або UV-A: $\lambda = 320-400$ нм;
- середньохвильовий, або UV-B: $\lambda = 280-320$ нм;
- короткохвильовий, або UV-C: $\lambda = 120-280$ нм.

Кордон $\lambda = 320$ нм діапазону UV-A визначається короткохвильового кордоном пропускання звичайних стекол. Випромінювання UV-C коротше $\lambda = 280$ нм поглинається в озоновому шарі атмосфери на висоті 40-50 км. В результаті природний УФ-фон на поверхні Землі складається тільки з UV-A і частково UV-B спектрів, що становить не більше 1,5% від сонячної енергії, що досягає поверхні Землі, при початковій частці УФ-спектра в випромінюванні Сонця близько 5%. Найменша спостерігалася довжина хвилі на Землі - 286 нм – була виявлена в полярній області Землі [7,8].

Крім озону сильне поглинання УФ-випромінювання в атмосфері дає і молекулярний кисень O_2 , смуги поглинання якого починаються з $\lambda = 200$ нм і коротше і мають максимум поглинання на $\lambda = 186$ нм. Смуги поглинання УФ в атмосфері мають також монооксид вуглецю CO : $\lambda = 130$ нм; водяні пари H_2O : $\lambda = 140$ нм; метан: $\lambda = 147$ нм; аміак: $\lambda = 220$ нм.

Випромінювання коротше $\lambda = 120$ нм ("вакуумний УФ") швидко поглинається в усіх матеріалах і газах і використовується тільки в вакуумній спектроскопії та позаатмосферній астрофізиці. Жорстке УФ-випромінювання (UV-C і коротше) володіє сильним фотохімічним впливом, що призводить до руйнування хімічних зв'язків в органічних молекулах і агломерату, утворення вільних радикалів, активації хімічних реакцій, що викликає радіаційні пошкодження біологічних тканин і структур. Тому моніторинг озонового шару здійснюється, перш за все, з метою контролю випромінювання діапазону UV-C на поверхні Землі. Він втілений в ряді проектів і програм вимірювань як на поверхні Землі, так і космічними апаратами (починаючи зі супутників Nimbus [9]). Так як випромінювання Сонця в діапазоні UV-C майже повністю поглинається верхніми шарами атмосфери, то на поверхні Землі воно може бути присутнім тільки в штучних високотемпературних джерелах, наприклад в спектрі випромінювання сильно нагрітих газів ($T > 4000$ K), електричних розрядів і дуг. Цей факт, а також лінійчатий спектр УФ-випромінювання більшості джерел, дозволяють вважати, що сонячне випромінювання не впливає на УФ-детектори (УФД) UVC діапазону при виявленні та ідентифікації джерел УФ-випромінювання, в тому числі і на тлі яскравих джерел видимого і інфрачервоного випромінювання. Інша важлива застосування таких детекторів - моніторинг небезпечних для людини доз УФ-випромінювання в діапазоні UV-C, наприклад на станціях УФ-очищення води.

Найбільш поширені штучні джерела УФ випромінювання - ртутні лампи. Максимум випромінюваної енергії в ртутних лампах низького тиску відповідає $\lambda = 254$ нм. У ртутних лампах високого тиску можна отримати лінії істотно більшої інтенсивності на довжинах хвиль: $\lambda = 254, 297, 303, 313$ і 365 нм, при цьому лінія $\lambda = 254$ нм діапазону UV-C втрачає своє домінуюче значення. УФД, як і детектори випромінювання інших спектральних

діапазонів, діляться на два великі класи: фотодетектори, або фотонні детектори, і термодетектора.

У фотодетекторах фотони, поглинені матеріалом детектора, при взаємодії з електронами змінюють електричні характеристики детектора, що відбивається в измереному електричному сигналі. У термодетектора поглинання фотонів приводить до підвищення температури і зміни температурних властивостей детектора. Так, в піроелектричних детекторах вимірюють зміну внутрішньої електронної поляризації, в болометр - електричний опір і т. д. фотодетектори мають, як правило, кращою чутливістю і тому набули широкого поширення, тоді як термодетектора використовуються в основному для еталонних вимірювань.

1.2. Класифікація детекторів

УФД (детектори ультрафіолету), як і детектори випромінювання інших спектральних діапазонів, діляться на два великі класи: фотодетектори, або фотонні детектори, і термодетектори.

У фотодетекторах фотони, поглинені матеріалом детектора, при взаємодії з електронами змінюють електричні характеристики детектора, що відбивається в вимірювальному електричному сигналі. У термодетектора поглинання фотонів приводить до підвищення температури і зміни температурних властивостей детектора. Так, в піроелектричних детекторах вимірюють зміну внутрішньої електронної поляризації, в болометр - електричний опір і т. д. фотодетектори мають, як правило, кращу чутливість і тому набули широкого поширення, тоді як термодетектори використовуються в основному для еталонних вимірювань.

УФД також можна розділити на дві групи [10]: фотографічні і фотоелектронні.

Фотоплівки та інші фотоматеріали дозволяють записати велику кількість інформації при одноразовому експонуванні, але мають серйозні недоліки: низьку і нелінійну чутливість, вузький динамічний діапазон, неможливість фільтрації фону і паразитне засвічення емульсії, тому сьогодні вони використовуються рідко, в основному для наукових досліджень.

Фотоелектронні УФД діляться на три класи: фотоемісійні, напівпровідникові і надпровідні. Ці типи УФД можуть перетинатися в гібридних пристроях, наприклад, фотоемісійні електрони можуть реєструватися при їх впливі на напівпровідникову (н/п) ПЗЗ-матрицю (детектори типу EBCCD і ICCD).

У фотоемісійних приладах падаючий фотон вибиває з поверхні фотокатода електрон, який прискорюється в вакуумі і рухається до анода при додатку електричного потенціалу. Утворений електричний струм детектора пропорційний числу фотоелектронів, тобто інтенсивності падаючого випромінювання. При цьому ефективність зовнішнього фотоефекту і спектрально-енергетичні характеристики такого детектора визначаються робочою функцією поверхні фотокатода.

Переваги такого детектора: висока чутливість і зручності в роботі з ним; недоліки: низька квантова ефективність, спектральна залежність відгуку детектора і залежність ефективності від якості і чистоти поверхні. На рис. 1.1. наведена квантова ефективність виявлення, де вказано матеріал фотокатодів і тип пристроїв: МКП - мікроканальна пластина, ПЗЗ - прилад із зарядним зв'язком (матриця), ПЗЗЕБ - прилад із зарядним зв'язком і електронним бомбардуванням.

У н/п детекторах фотони поглинаються всередині обсягу н/п матеріалу, створюючи пари "електрон-дірка" і відповідну провідність. Цей клас детекторів використовує внутрішній фотоефект, в якому енергія фотона повинна бути чималою, щоб фотоелектрон подолав заборонену зону і перейшов в зону провідності.

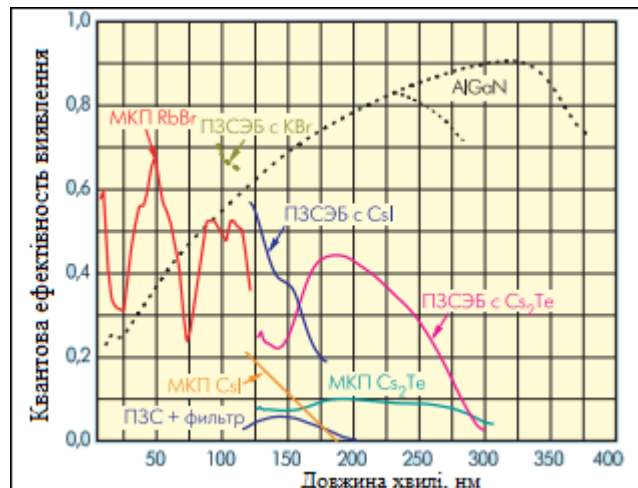


Рис 1.1. Квантова ефективність виявлення для основних типів УФД, нечутливих до видимого і ІЧ-спектру.

У фотодіодах (ФД), діодах Шоттки і структурах типу метал-ізолятор-напівпровідник для подолання потенційного бар'єру прикладається зовнішнє електричне поле. Зовнішній фотострум детектора пропорційний числу детектованих фотонів.

Переваги такого детектора: широкий робочий діапазон, хороша лінійність, висока квантова ефективність, широкий динамічний діапазон, можливість виготовлення великих зображують матриць; недолік - наявність ефекту старіння під дією УФ-випромінювання.

Надпровідні УФД - це, по суті, термодетектори, засновані на зміні фізичного стану речовини при збільшенні внутрішньої енергії матеріалу через поглинання УФ-фотонів.

1.3.Вимоги до УФ-детекторів

До УФД будь-якого типу зазвичай висувають такі вимоги:

- низька чутливість до видимого світла (solar-blind). Поза земною атмосферою на один сонячний фотон в діапазоні 100-200 нм доводиться 10^4 -

10^6 фотонів у видимому та ІЧ-діапазонах. Це співвідношення збільшується на поверхні Землі. Тому просте використання пропускаючих УФ-фільтрів з ослабленням 10^{-4} - 10^{-3} недостатньо, якщо детектор має хорошу чутливість у видимому і / або ІЧ-діапазонах;

- висока квантова ефективність виявлення (КЕВ). В оптичних системах УФ-діапазону, де великі втрати на пропускання, це значення може сильно відрізнятися від квантової ефективності фотокатода або ПЗЗ-матриці. В результаті застосування спеціальних фільтрів і вікон для блокування видимого світла КЕВ фотоемісійні УФД зменшується на порядок: від $\sim 50\%$ до 2-5% (рис.1);

- широкий локальний динамічний діапазон: ставлення максимального значення потоку в даній точці детектора до мінімального сигналу, рівень якого становить 3σ від рівня шуму. При інтегруванні по площі детектора отримуємо інтегральний динамічний діапазон детектора. Цей параметр особливо важливий для чутливих фотоелектронних детекторів і при розробці швидкісних позиційно-чутливих детекторів;

- низький рівень фонових сигналів і шумів, що визначає практичну чутливість приладу і контраст зображення.

1.4.Напівпровідникові УФ-детектори

Детектори на основі широкозонних напівпровідників розробляються протягом останніх 15 років [11]. В якості матеріалів УФД можна використовувати тонкоплівкові алмазні покриття (ширина забороненої зони $E_g = 5,4$ еВ), карбід кремнію ($E_g = 2,9$ еВ) і нітридів елементів III групи: AlN, GaN, InN ($E_g = 3,4$ - $6,2$ еВ). Детектори цього типу можуть бути використані в схемах ФД і фотоопорів. Вони володіють хорошою швидкістю і явно вираженою залежністю від довжини хвилі падаючого випромінювання.

В УФ-діапазоні через високу енергію фотонів можна використовувати більшість н/п детекторів видимого діапазону, але з низькою КЕВ через сильне поглинання УФ-випромінювання вузьким приповерхневим шаром. Сьогодні, як показано в [12], нескладно створити ефективний кремнієвий УФД з КЕВ до 50%. Проблеми виникають при їх тривалій (кілька років) експлуатації через постійний вплив УФ-випромінювання, вологи і освітлення сильно поглинаючих шарів оксиду кремнію товщиною 5-20 нм на кордонах розділу (рис.1.2. [12]).



Рис 1.2. Зменшення квантової ефективності кремнієвого н/п детектора UV444A через місяць після початку експлуатації

УФД на основі н/п з широкою забороненою зоною (наприклад, у GaN вона дорівнює 3,4 еВ) не вимагають спеціального охолодження, як кремнієві детектори видимого діапазону (заборонена зона у кремнії дорівнює 1,2 еВ). вони мало чутливі до видимого світла. Всі н/п детектори мають малу вагу і габарити, споживають малу потужність при низькій напрузі (~ 30 В), що дає низький рівень шуму. Їх недолік - істотно менший, ніж у фотоемісійних УФД, чутливість і робоча площа.

Демонстрація першого УФД на основі GaN в 1992 році [13] стимулювала розробку цих н/п приладів. У порівнянні з кремнієвою електронікою н/п прилади на основі GaN (а також алмазу і SiC) працюють при більш високій робочій температурі і підвищеній вологості. Так, за

стандартом МІЛ, пристрої на основі кремнію мають максимальну робочу температуру 125°C , а транзистори на основі GaN залишаються працездатними і при 425°C [14].

Добавка в широко зонний н/п GaN алюмінію призводить до збільшення ширини забороненої зони, а впровадження атомів індію - до її звуження. Підбираючи склад потрібний структури типу $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ або $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, можна створювати УФД з різною спектральною чутливістю практично в усьому діапазоні 200-600 нм (рис.1.3.) [14].

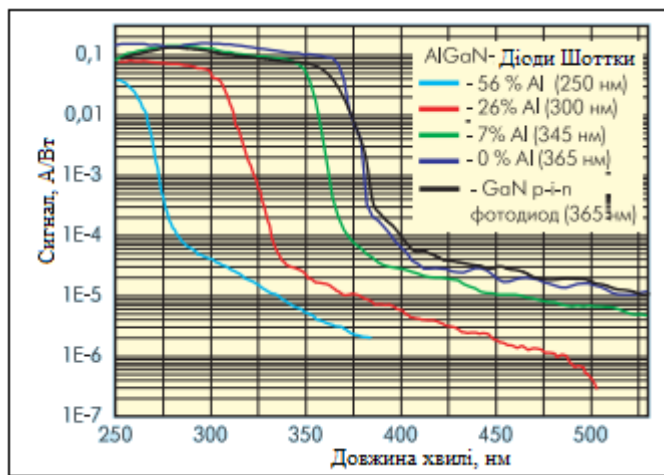


Рис 1.3. Зміна довгохвильового кордону чутливості ФД на основі GaN при додаванні алюмінію

Н/п з'єднання на основі GaN можна використовувати для створення бар'єрів в р-і-п-діодах [14], діодів Шоттки (бар'єр метал-н/п) [15], а також в структурах типу "Метал-п / п-метал" [16]. Тонкі (0,2-1,0 мкм) н/п шари зазвичай наносять методом молекулярної епітаксії на сапфірові підкладки. Розмір робочої поверхні такого н/п детектора невеликий і зазвичай становить 0,1-2,0 мм.

Створюючи більш складні структури, можна істотно збільшити ефективність фотодетекторів. Повідомлялося, що на структурах типу р-і-п

була досягнута внутрішня квантова ефективність 86% при часі спрацювання ~ 300 пс [11], що істотно перевищує параметри кремнієвих УФД.

Н/п УФД можна використовувати для проведення точних вимірювань біологічних доз УФ-випромінювання. Згідно з міжнародними стандартами Commission International de l'Eclairage (CIE), спектральна чутливість детектора при таких вимірах повинна відповідати залежності реакції біологічних тканин від довжини хвилі УФ-випромінювання. необхідний вид спектральної функції детектора можна легко отримати при використанні н/п структур на основі GaN навіть без застосування спеціальних фільтрів, які потрібні при вимірюванні біодоз кремнієвими або фотоемісійними УФД.

Фотодетектори на основі GaN ідеально підходять для виявлення джерел гарячого полум'я. Спектральну чутливість можна оптимізувати для ефективного виявлення фотодетектором вогнища горіння шляхом підбору змісту алюмінію в цих н/п з'єднаннях.

Для надійного виявлення УФ-випромінювання полум'я від горіння палива реактивних літаків JP-4 потрібно, щоб чутливість фотодетектора до УФ була в 10^6 - 10^7 раз більше, ніж до видимого світлового діапазону.

У порівнянні з н/п фотодетекторами на основі широкозонного н/п SiC, який при відповідному легуванні може давати провідність n- і р-типу, фотодетектори на основі нітридів елементів III і IV груп дають можливість створювати гетероструктури, які мають кращі омичні контакти [11]. Основні проблеми фотодетекторів на GaN - зменшення часу життя носіїв і зниження фотоемісійної ефективності, викликані великою (10^7 - 10^{10} см⁻¹) концентрацією дефектів в GaN-структурах. Можливий спосіб вирішення проблеми - використання для епітаксійного росту іншої кристалічної підкладки, наприклад Si (111) [11].

УФД, виготовлені на основі плівок алмазоподібних покриттів (товщина плівки 0,01-0,8 мм), що володіють н/п властивостями, також представляють великий інтерес [17], особливо для роботи з потужними джерелами УФ-

випромінювання, такими як ексімерні лазери. Проблеми тут пов'язані з невисокою якістю нанесених алмазних плівок.

Відзначимо, що всі описані структури н/п детекторів можуть бути використані для створення позиційно чутливих УФ-приладів, в тому числі і у вигляді невеликих матриць.

1.5. Оптичні властивості молекулярних кластерів срібла та міді

З рис.1.4 видно, що смуга люмінесценції займає спектральний інтервал 370-700 нм і має максимум на довжині хвилі 500 нм. Дана смуга люмінесценції потрапляє в область спектральної чутливості кремнієвого фотодіода. Довжина хвилі люмінесценції: 1 - 470 нм, 2 - 560, 3 – 610.

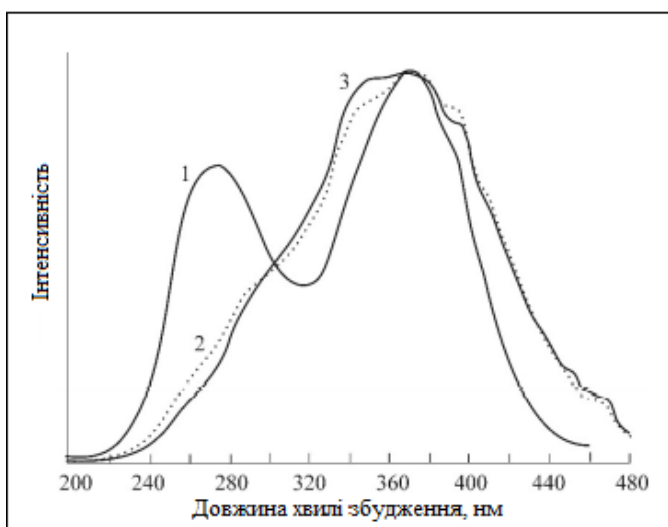


Рис 1.4. Спектри збудження люмінесценції після ультрафіолетового опромінювання ртутною лампою.

З рис.1.5 видно, що смуга збудження люмінесценції займає спектральний інтервал 240-420 нм і має максимум на довжині хвилі 360 нм. Таким чином, використання люмінесцентних стекл з молекулярними кластерами срібла і волокон на їх основі дозволяє перетворювати УФ випромінювання в видиму область спектра, і застосовувати для реєстрації

сигналу дешеві і поширені кремнієві фотодіоди. Спектри люмінесценції після ультрафіолетового опромінювання ртутною лампою протягом 20 хв і термообробки (350°C протягом 3 год.). Довжина хвилі збудження люмінесценції: а - 1 - 260 нм, 2 - 300, 3 - 320; б - 1 - 360 нм, 2 - 400, 3 - 420, 4 - 450, 5 - 500 (рис.1.5).

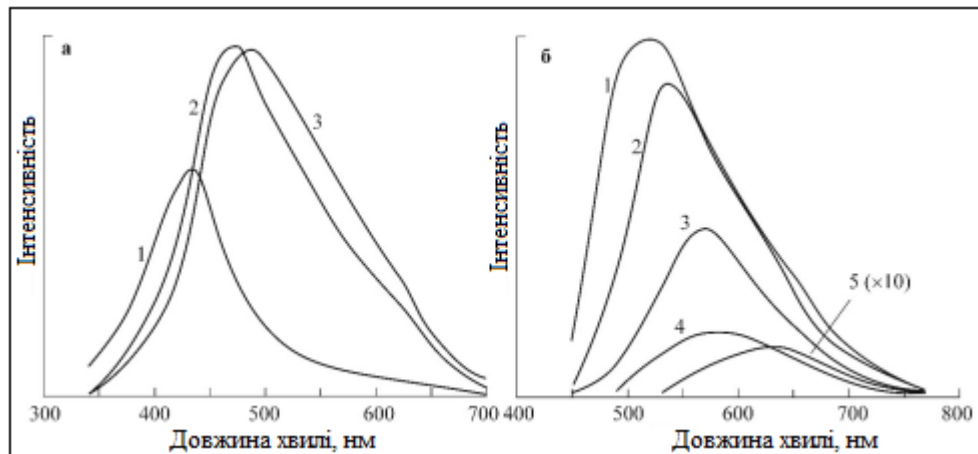


Рис 1.5. Спектри люмінесценції після ультрафіолетового опромінювання ртутною лампою

Блок-схема датчика УФ випромінювання аналогічна блок-схемі датчика іскріння, показаної на рис.1.6., де 1 - волокно з нейтральними молекулярними кластерами срібла; 2 - відбивач; 3 - циліндрична лінза; 4 - відбивач; 5, 7 - оптичні роз'єми; 6 - передає оптичне волокно; 8 - фотодіод; 9 - блок обробки електричного сигналу.

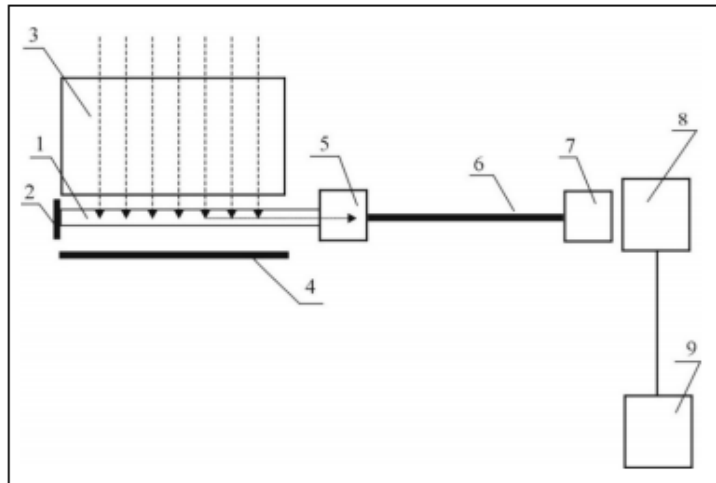


Рис 1.6. Блок-схема дозиметра УФ випромінювання.

Для визначення дози ультрафіолетового опромінювання Q (Дж / м²)
Може бути використана наступна формула:

$$Q = V \times t \times K, \quad (1.1)$$

де V - сигнал фотодіода (мВ), t - час опромінення (с), K – коефіцієнт пропорційності, який визначається за градууювальною (поділкуювальною) кривою (Вт/мВ·м²). На рис. 1.7 показана інтегральна для спектрального інтервалу 250-400 нм градууювальна крива датчика УФ випромінювання для кремнієвого фотодіода BPW21R, включеного в фотогальванічному режимі. Опромінення проводилося ртутною лампою, яка випромінює в спектральному інтервалі 250-400 нм.

З рис. 1.7 видно, що градууювальна залежність лінійна в інтервалі освітленості від 0.2 до 7 Вт/м². Це дозволяє для даного інтервалу освітленості визначити коефіцієнт пропорційності $K = 0.6$ Вт/мВ·м².

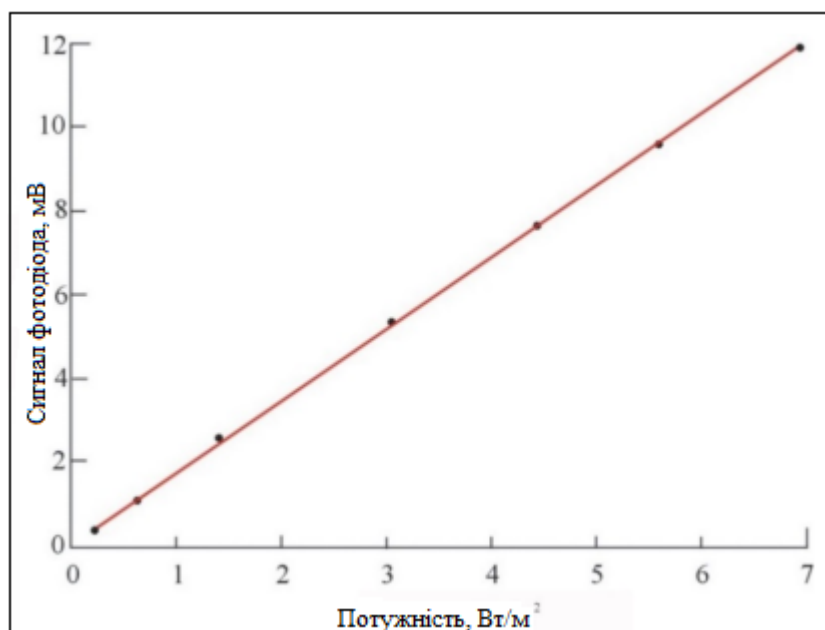


Рис 1.7. Інтегральна для спектрального інтервалу 250-400 нм градувальна крива датчика УФ випромінювання для кремнієвого фотодіода BPW21R

Очевидно, що в дозиметрах УФ випромінювання можуть бути використані не тільки люмінесцентні скла з МК срібла, а й з МК напівпровідників, оптичні характеристики яких представлені в табл.1.1.

Таблиця 1.1.

Спектральні області люмінесценції і збудження люмінесценції стекол з МК металів і напівпровідників

Склад МК і скла	Спектральна область люмінесценції, нм. (λ_{max} , нм)	Спектральна область збудження люмінесценції, нм. (λ_{max} , нм)
Срібло Оксифторидне скло	520-650 (560)	340-480 (400-420)
Срібло ФТР скло	450-650 (500-520)	240-440 (360)
Мідь Силікатне скло	400-500 (450)	320-400 (350)
Золото Силікатне скло	600-850 (750)	270-380 (300)
Сульфід кадмію Фторфосфатне скло	540-780 (640)	280-480 (380)
Селенід кадмію Фторфосфатне скло	440-720 (620)	260-500 (320)

Продовження табл. 1.1.

Сульфід свинця Фторфосфатне скло	540-780 (620)	240-400 (320)
Селенід свинця Фторфосфатне скло	420-660 (500)	240-420 (300-340)
Хлорид і оксид меді КАБ* скло	450-680 (540-600)	240-400 (280,365)
Хлорид і оксид срібла Силікатне скло	500-600 (530)	360-410

* - калієво-алюмо-боратного

В дужках вказано положення максимумів люмінесценції і збудження люмінесценції.

Найбільшу небезпеку для людини представляє спектральний інтервал 240-280 нм. Використання для реєстрації випромінювання стекол з МК срібла неефективно (див. рис.1.8). Для реєстрації та вимірювання дози УФ випромінювання спектрального інтервалу 240-280 нм може бути використаний дозиметр з подвійним спектральним перетворенням. На рис. 1.8 (а,б,г) показані спектри збудження люмінесценції і люмінесценції стекол з іонами сурми Sb^{3+} і МК срібла.

Рис. 1.8 Спектри збудження люмінісценції (а, в) і люмінесценції (Б, г) стекол з іонами сурми (а, б) і МК срібла (в, г). а: довжина хвилі люмінесценції 365 нм; б: довжини хвиль збудження 240 нм (1) і 280 нм (2). в: довжина хвилі люмінесценції 560 нм; г: довжина хвилі збудження 360 нм.

З рисунка видно, що скло з іонами сурми має дві смуги збудження люмінесценції з максимумами на $\lambda = 240$ нм і 280 нм, відповідними різному оточенню іонів Sb^{3+} в склі (рис.1.8, а). Їм відповідають дві смуги, які перекриваються люмінесценції з максимумами на $\lambda = 380$ нм і 360 нм (рис.1.8, б).

Скло з нейтральними МК срібла має структуровану смугу збудження люмінесценції з максимумом на $\lambda = 360$ нм (рис.1.8, в) і широку смугу люмінесценції з максимумом на $\lambda = 500$ нм (рис.1.8, г). Наявність у смуги

збудження структури пов'язано з присутністю в склі атомарного срібла і декількох типів МК срібла Ag_n ($n = 2-4$).

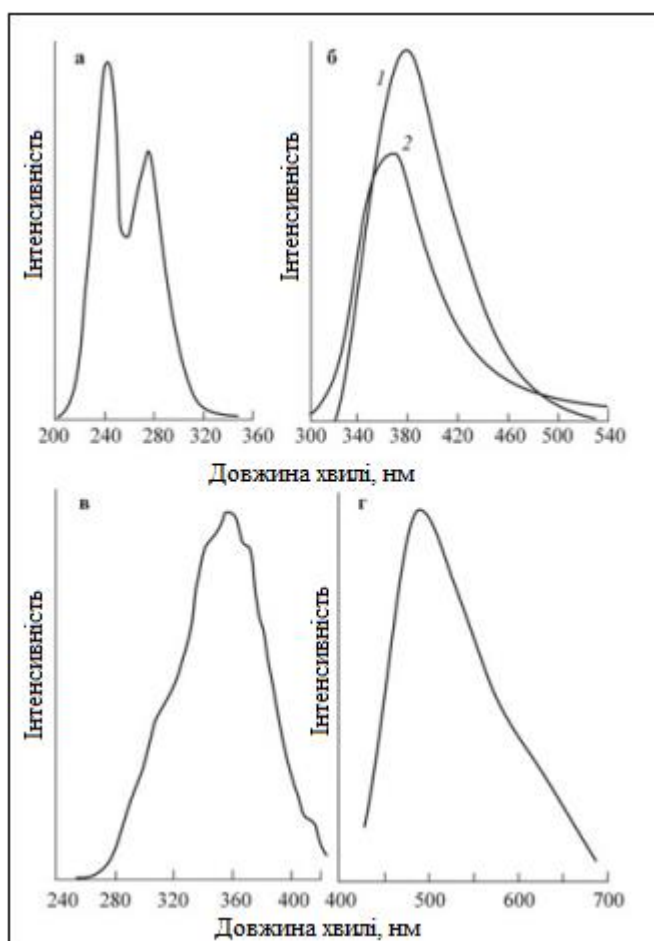


Рис 1.8. Спектри збудження люмінесценції

З рис.1.8 видно, що в склі з іонами сурми відбувається спектральне перетворення випромінювання з спектрального інтервалу 240-280 нм в спектральний інтервал 340-420 нм, який відповідає смузі збудження люмінесценції скла з молекулярними кластерами срібла. В свою чергу, в склі з молекулярними кластерами срібла відбувається спектральне перетворення випромінювання з спектрального інтервалу 300-400 нм в спектральний інтервал 450-650 нм, який відповідає спектральній чутливості кремнієвого фотодіода.

Таким чином, використання люмінесцентних стекол з МК дозволяє провести спектральне перетворення УФ випромінювання в видиму область спектра, і при відповідному калібруванні вимірювати дозу опромінення з допомогою кремнієвого фотодіода. Використання люмінесцентних стекол з іонами сурми і нейтральними молекулярними кластерами срібла дозволяє здійснювати подвійне спектральне перетворення УФ випромінювання з спектрального інтервалу 240-280 нм в видиму область спектра і вимірювати дозу опромінення описаним вище методом.

Висновки до розділу 1

В цьому розділі наведено загальна інформація про діапазони ультрафіолетового випромінювання та найбільш поширені штучні та природні джерела УФ випромінювання.

Наведена класифікація ультрафіолетових детекторів на класи та підкласи, переваги та недоліки кожного класу, які додатково проілюстровані за допомогою графіків.

У пункті 1.3. показані основні вимоги, які висувають до ультрафіолетових детекторів, такі як: низька чутливість до видимого світла, висока квантова ефективність виявлення, широкий локальний динамічний діапазон та низький рівень фонових сигналів та шумів.

Далі проведено огляд УФ-детекторів виготовлених на основі різних матеріалів, а саме: кремнієві детектори, на основі GaN, алмазу та SiC, фотодіода Шотткі на структурі AlGaIn, а також реакція кластерів срібла та міді в склі після опромінювання, їх властивості та характеристики за допомогою графіків. Приведена загальна схема дозиметра УФ випромінювання в якій може бути використаний УФД на основі різних матеріалів (спектральні області збудження яких зображені у табл. 1.1).

2 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ВИМІРЮВАЧІВ УФ

2.1.УФ детектор на основі поверхневої акустичної хвилі

У данній модифікації детектора ультрафіолету (УФ) автори використовують одновимірну плівку ZnO. ZnO є чутливим до УФ завдяки своїм привабливим оптичним властивостям, включаючи широкий пропускний діапазон 3,4 еВ та велику енергію зв'язку екситону 60меВ при кімнатній температурі. Велика фотовідповідь тонкої плівки ZnO робить його перспективним матеріалом, що використовується в оптичних та оптоелектричних додатках.

Таким чином, ZnO наноструктура зі сприятливими властивостями, яка є чудовим матеріалом для широкого застосування в галузі технологій, включаючи УФ-лазери [18], польові випромінювачі [19] і сонячні елементи [20]. Крім того, завдяки таким властивостям як: числі висока чутливість, швидка реакція та швидке відновлення, ZnO наноструктури також широко використовуються як чутливі матеріали в датчиках вологості [21], датчиках газу [22] та біосенсорах [23].

Пристрої поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) використовуються в комерційних цілях протягом десятиліть. ПАХ RF (радіочастота) та IF (проміжні частотні) фільтри трансивера електроніка широко використовується в галузі телекомунікацій через їх невеликі розміри, низьку вартість і високу продуктивність. Крім того, зростає інтерес до датчиків ПАХ так, як найбільше енергії утримується в межах однієї довжини хвилі, що призводить до високої чутливості. Крім того, ПАХ датчики пасивні, стабільні і можуть застосовуватися для бездротового зв'язку дистанційного зондування та управління. Тому датчики ПАХ є перспективні кандидати на різні датчики, такі як газ, вологість, тиск та біосенсиори [23]. Кілька УФ-детекторів на основі ПАХ, що використовують був продемонстрований

акустoeлектричний ефект [24]. Однак більшість представлених випадків базувалися на напівпровідникових чутливих плівках.

Система генераторів ПАХ комбінована для розробки високого прецизійного УФ-детектора. Зміщення частоти, пов'язана з різницею оптичних довжин хвиль і щільністю потужності обговорюється нижче.

Зміна швидкості ПАХ за рахунок акустoeлектрика, взаємодія пропорційна електромеханічному коефіцієнту зчеплення K^2 [25]. Матеріал з великим коефіцієнт зв'язку, такий як LiNbO_3 , дуже підходить для УФ-детектора з використанням акустoeлектричного ефекту. Висока п'єзoeлектричність LiNbO_3 не тільки показує відмінні показники п'єзoeлектричного перетворення, але також зменшує розмір ПАХ -пристрою за рахунок зменшення пар ІТП (Інтегрована технологія пристроїв). Тому ми фабрикуємо ПАХ генератори на підкладці $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$. Розроблена центральна частота двопортового резонатора ПАХ становить 145 МГц.

Наносилась алюмінієва плівка товщиною 150 нм $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$ розпиленням, потім формування електродів за допомогою літографії та процесу травлення. Частота відповіді виготовлених пристроїв ПАХ була вимірена мережевим аналізатором, центральні частоти близько 145,87 МГц і втрати на введення знаходяться в діапазоні від -5 до -7дБ. Результати вимірювань показують, що продуктивність ПАХ пристроїв є досить хорошою. Параметри інтегрованої технології пристроїв зображені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Разрахункова параметри ІТП

Довжина хвилі	27 мкм
Простір пальця	6,75 мкм
Діафрагма	2700 мкм
Лінія затримки	4320 мкм
Пари IDT	15
Кількість відбивачів	50

Ці коливання можна виключити, використовуючи подвійну затримку лінійного ПАХ генератора. У цьому дослідженні двоканальний ПАХ осцилятор складається з двох аналогів, один - це піломатеріал покритий чутливим матеріалом ZnO-нанород, а інший залишається голою поверхнею. Показано що генератори були підключені до підсилювачів, змішувача, і фільтру низьких частот для формування подвійної лінії затримки ПАХ осциляторної системи (див. рис. 2.1).

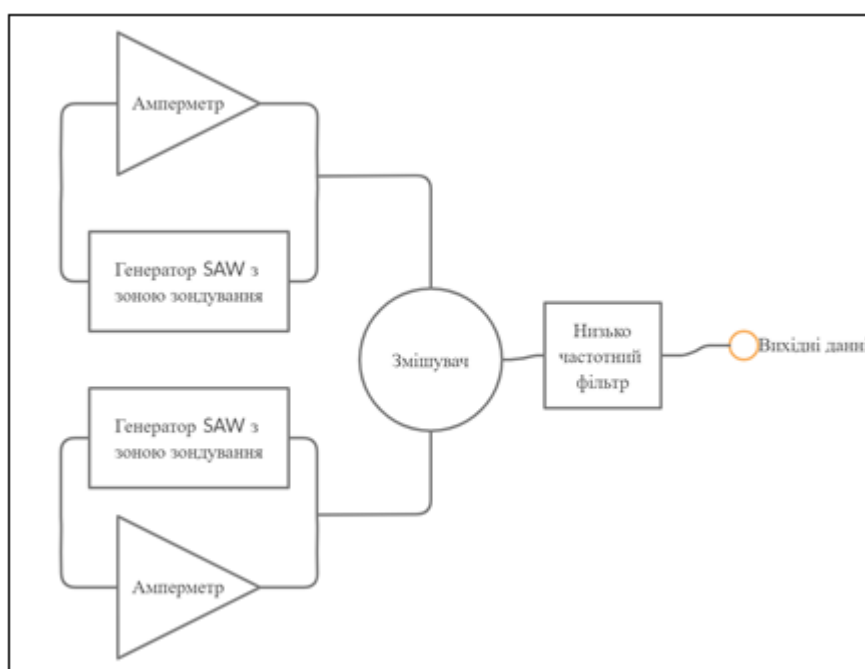


Рис 2.1. Двоканальна конфігурація

Показано експериментальне налаштування системи УФ-детектування на рис.2.2. Зона зондування подвійної лінії затримки ПАХ генератора освітлювалась УФ джерелом, що складається з Хе лампи і монохроматора. Коли нанород ZnO піддається УФ-освітленню, у частоті спостерігається зсув. Різниця частот подається до лічильника частоти, який підключений до персонального комп'ютера для збору та зберігання даних у режимі реального часу.



Рис 2.2. Система УФ-детектування

У цьому дослідженні розглянута реалізована модифікація детектора ультрафіолетового опромінення на основі ПАХ, осциляторна система з ZnO-наноструктурним чутливим матеріалом. Відповіді різного світла вимірюються довжиною хвиль та різноманітною оптичною силою. Зсуви частоти досягають максимального значення понад 40 кГц при 365 нм. Крім того, зміщення частоти становить 19 кГц за 10 секунд після включення 365 нм, набагато більше в порівнянні з структурою AlGaN/сапфір. Ці Результати показують, що ефективність цього УФ-детектора, такого як чутливість, час відгуку, повторюваність та усунення коливань навколишнього середовища відмінні. Словом, за допомогою ZnO нанород, як чутливий матеріал на основі ПАХ детектору - перспективний детектор для зондування ультрафіолету.

2.2.УФ фотодатчик ПАХ на основі ZnO

Ультрафіолетовий датчик на основі тонкої плівки ZnO - пристрій на основі поверхневої акустичної хвилі. Плівки ZnO були вирощені з використанням техніки радіочастотного розпилення. Прилади ПАХ виготовляли з використанням таких плівок ZnO, що демонструють центральну частоту $\sim 41,2$ МГц. УФ-датчик ПАХ був виготовлений шляхом осадження 70 нм тонкопровідного ZnO накладення на виготовлений пристрій ПАХ. ПАХ УФ датчик, що демонструє цікаву фотовідповідь поведінка якої до ультрафіолетового освітлення та зменшення частоти ~ 45 кГц, а зміна втрат на введення - 1,1 дБ спостерігається при інтенсивності УФ-освітлення $19 \text{ мВт} / \text{см}^2$. Зміни в частоті роботи та вставки втрати були пов'язані з акустoeлектричною взаємодією між фотогенерованими носіями заряду та потенціалом, пов'язаним з акустичними хвилями.

ZnO, напівпровідниковий оксидний матеріал із широкою забороненою зоною (смуга розриву = 3,3 еВ) привертає значну увагу завдяки своїм універсальним властивостям. Він виявляє чудові п'єзоелектричні, оптичні та напівпровідникові властивості і знаходить застосування як прозорий провідник, тонкоплівковий газовий датчик, варистор, поверхня пристрою акустичних хвиль (ПАХ), оптичні хвилеводи, акустооптичні модулятори/дефлектори, ультрафіолетове (УФ) джерело лазера, та УФ-детектори [26]. Його легка обробка та налаштування властивостей роблять ZnO одним із високодосліджених матеріалів у ці дні [27]. ZnO володіє значним коефіцієнт електромеханічного зчеплення, і, можливо, становить перший матеріал у своєму роді, який був успішно використаний для комерційних ПАХ -пристроїв у тонкоплівковій формі [28]. Реакція пристроїв ПАХ дуже чутлива до будь-якого зовнішнього збурення, що відбувається на його поверхні. Цю поведінку пристрою ПАХ можна використовувати для різних застосувань, таких як газові датчики, хімічні датчики, біологічні

датчики, оптичні датчики тощо, якщо середовище між входом і виходом покриті сенсорним шаром. Мабуть, найцікавіше застосування поверхні акустичних хвиль - явище, відоме як акустичний заряд транспортування (АСТ). АСТ передбачає взаємодію між поверхнею акустичної хвилі та вільних електронів в п'єзоелектричному напівпровіднику. До цього часу проводились експериментальні [28,29] дослідження, особливо у властивостях АСТ двовимірного електронного газу (2DEG), що утворюється в межах GaAs / Al_xGa_{1-x}As гетероструктури. Властивості напівпровідника призводять до акустоелектричної взаємодії, при якій відповідні хвилі електричного поля – акустичні, взаємодіють з 2DEG. Діяльність АСТ в пристрої може бути використана для проектування нових пристроїв, якщо замість розміщення напівпровідникового шару на поверхні ПАХ пристрою використовувати фотопровідний шар, і акустоелектричні взаємодії в цих структурах індуковані оптичним випромінюванням, то можна уявити різні види оптичного датчика на основі конструкцій ПАХ.

Один з перших звітів про УФ-детектори на базі приладів ПАХ був опублікований Ciplus, де вони повідомили про УФ-детектори працюючого генератора ПАХ на основі GaN на частоті 221,34 МГц. Зниження частоти генератора (60 кГц) при УФ-освітленні. Palacios продемонстрував поведінку АСТ в ПАХ пристрої на основі GaN, на сапфіровій площині під ультрафіолетовим освітленням. Цікаво, що використання фотопровідної властивості ZnO та п'єзоелектрична властивість LiNbO₃, Sharma повідомили про УФ-фотовідповідь двошару ZnO/LiNbO₃. Пристрій ПАХ з частотою зменшення передач ~ 170 кГц при УФ-освітленні 35 мВт / см². Нещодавно Emanetoglu повідомив про УФ-фотодетектори виготовлені з ZnO / Mg: ZnO / ZnO на багатошаровій г-площині сапфір, здатний виявляти інтенсивність УФ порядку 810 мкВт / см² за допомогою режиму Sezawa (режим вищого порядку) пристрою ПАХ (711,3 МГц). На основі цих подій можна зробити висновок, що ПАХ Ультрафіолетові датчики мають перспективне майбутнє,

а ZnO показав: величезний потенціал для проектування таких датчиків. ZnO є добре відомий своїми фотопровідними властивостями, особливо в УФ-області з додатковою перевагою проявлення - хороша п'єзоелектрична властивість [28]. Тому комбінування п'єзоелектричних та фотопровідних властивостей ZnO веде до цікавого класу перспективних УФ-датчиків ПАХ. Цього можна досягти виготовленням тонкої плівки ZnO, накладкою фотопровідної тонкої плівки ZnO з ПАХ пристроєм.

У цій роботі повідомляється про характеристики УФ-датчика на основі тонкої плівки ZnO ПАХ пристрою. УФ-датчик розроблений методом осадження фотопровідного тонкого шару ZnO на поверхню пристрою ПАХ на основі плівки, та досліджувані характеристики відгуку двошарової структури ПАХ під УФ підсвічування.

Типовий відгук виготовленого тонкоплівкового ПАХ пристрою ZnO, що працює при центральній частоті 41,2 МГц показана на рис. 2.3.

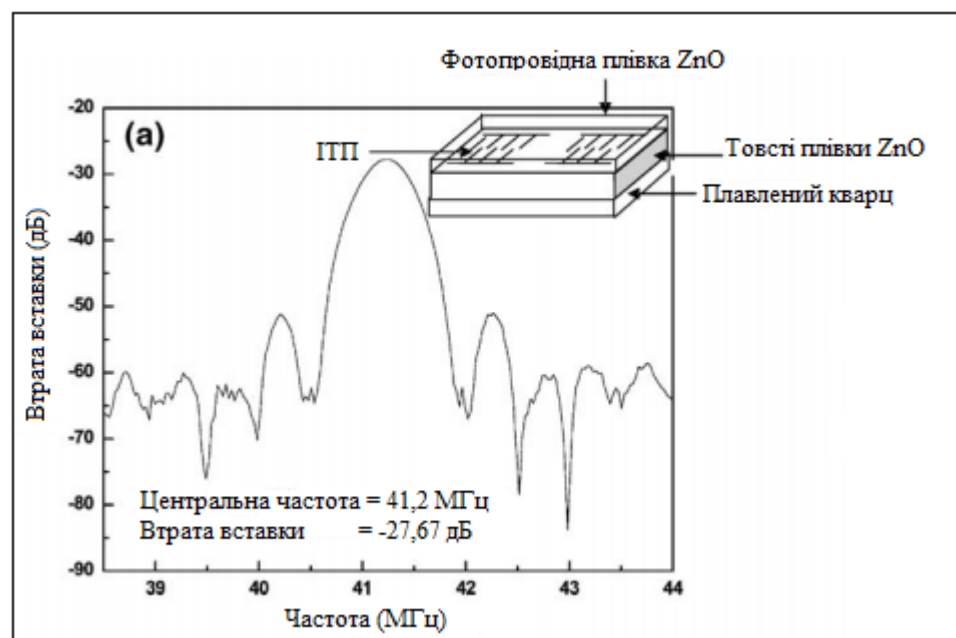


Рис 2.3. Типовий відгук виготовленого тонкоплівкового ПАХ пристрою ZnO

Тонкоплівковий пристрій ПАХ було налаштовано у формі УФ-датчика шляхом інтеграції з тонким шаром фотопровідного нанесення ZnO. Було

встановлено, що виготовлений УФ-датчик ПАХ працює на центральній частоті 41,2 МГц, і виявив значну реакцію на УФ-освітлення. А зменшення частоти (~ 45 кГц) і зміна втрат ($\sim 1,1$ дБ) пристрою показують можливість використання ZnO для виготовлення недорогого УФ-датчика ПАХ.

2.3. Плівка ZnO / кварц ST-зрізу для ПАХ УФ-фотодетектору

Кварц, виготовлений із кварцу ZnO / ST-зрізу при кімнатній температурі, прийнятий для ПАХ ультрафіолетового фотодетектора. Кварцова підкладка із зрізом ST та ZnO шар використовуються для збудження ПАХ та фотовизначення відповідно. Висока роздільна здатність дифракції рентгенівських променів та фотолюмінесценції показують, що високоякісні плівки ZnO можна наносити на кварц ST-зрізу за допомогою радіочастотного розпилення. Як ПАХ -пристрої при УФ освітленні (6 мВт/см^2), можна спостерігати, що понижуюча частота близько 35 кГц. Спостерігається, що малий температурний коефіцієнт частоти вказує на те, що прилади ПАХ мають гарну температуру стабільності.

На рисунку 13 показана АЧХ пристроїв ПАХ, виготовлених на кварці з ST-зрізом і без сенсорного шару ZnO на ділянці лінії затримки. Центральна частота становить близько 196 МГц, що відповідає розрахунковій акустичній швидкості 3136 м/с, яка близька до теоретичної. Насичені кварцові об'ємні значення для базового режиму хвилі Релея. Також було зазначено, що частотна характеристика, включаючи центральну частоту, втрату вставки та відторгнення бічної частки, не показує помітної різниці між двома пристроями ПАХ, як показано на рис. 2.4.

Це вказує на те, що на роботу приладів ПАХ майже не впливає рівень зондування ZnO. Таким чином, ефектом масового навантаження [30] можна знехтувати в пристрої ПАХ з малюнковою плівкою ZnO на кварцовій підкладці з ST-зрізу.

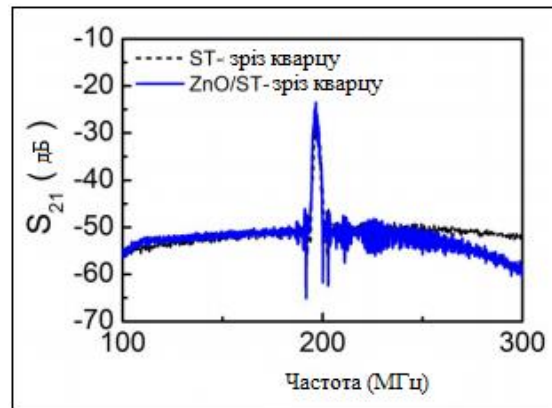


Рис 2.4. АЧХ пристрій ПАХ із сенсорним шаром ZnO та без нього.

На рис. 2.5 показано зсув частоти пристрою ПАХ при УФ-освітленні, записаному як функція часу. Зміщення частоти приблизно 35 КГц спостерігається як ZnO-сенсорний шар пристрій ПАХ в генераторі випромінювалось постійним ультрафіолетовим світлом при 325 нм з щільністю потужності близько 6 мВт/см² (в той час як ніякого зсуву частоти не спостерігалось для пристрою ПАХ без ZnO сенсорного шару). Це явище можна віднести до акустоелектричної взаємодії [31], що, як відомо, впливає як на швидкість, так і на ослаблення акустичних хвиль у п'єзоелектричних матеріалах [32,33]. Коли шар ZnO піддається впливу УФ-світла, генерація фотозбуджених носіїв екранує п'єзоелектричні поля акустичної хвилі і, таким чином, зменшується акустична швидкість.

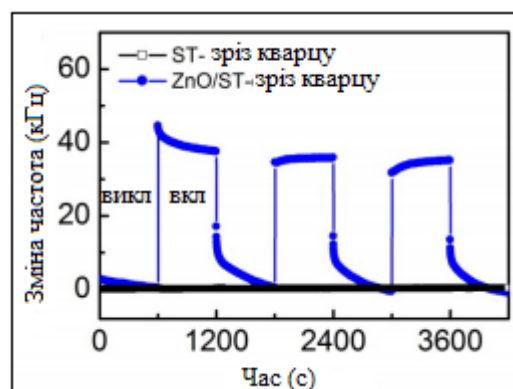


Рис 2.5. Залежність від часу фото відповіді УФ-приладів ПАХ.

УФ-датчики з використанням приладів на основі ПАХ, виготовлених на кварці ST-зрізу, вирощених при кімнатній температурі продемонстровано

та досліджено візерунковий шар зондування ZnO в лінії затримки. Плівка ZnO була осаджена методом радіочастотного магнетронного напилення та нанесена візерунком за допомогою підйомника, змоченого мокрим травлення на лінії затримки пильного пристрою. УФ-реакція генератора ПАХ була продемонстрована та досліджена з використанням He-Cd як джерела світла. Результати показали, що зсув частоти вниз зростає із освітлюючою густиною потужності лазера і насичується при максимальному зсуві частоти близько 50 кГц. Отримується TCF лише $-10,7 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, які вказують на те, що кварцовий ПАХ пристрій ZnO/ST-зрізу має добру температурну стабільність. Конфігурація та виготовлення пристроїв ПАХ дають можливість розробити при кімнатній температурі (і, отже, низька вартість) УФ-віддалений детектор з порівняно малим температурним коефіцієнтом.

2.4. Плівкові фотодетектори

ZnO – відноситься до широкозонних оксидних напівпровідників з унікальними фізико-хімічними властивостями [34]. Він має сильну радіаційну твердість, високу хімічну стабільність, низьку вартість і великий діапазон 3,37 еВ при кімнатній температурі [35–37]. Крім того, легуванням ZnO з MgO, ширину смуги частот $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ можна регулювати від 3,37 еВ до 7,8 еВ, [38,39], що важливо для виготовлення УФ-фотодетектори з різною довжиною хвилі відсічення. Ці властивості мають вирішальне значення для практичних оптоелектронних пристроїв в системі попередження про ракети, виявленні полум'я та міжсупутнику зв'язку[40]. Крім того, ZnO та його сплави ZnMgO є екологічно чистими та багатими природними речовинами ресурсів. Тому матеріал на основі ZnO є одним з найкращих матеріалів для виготовлення УФ-фотодетекторів [41]. Зокрема, для підвищення продуктивності УФ-фотодетекторів на основі ZnO були обрані різні методи,

такі як обробка поверхні, поверхневий плазмонічний ефект, змішаний фазовий матеріал тощо [42–44].

Плівкові фотодетектори на основі Ga_2O_3 Сонцезахисні УФ-фотодетектори можуть точно реагувати до дуже слабкого сигналу навіть при сонці або освітленні кімнати. Моноклінна Ga_2O_3 ($\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$), із внутрішньою шириною зазору, наприклад $\sim 4,9$ еВ і відповідна довжина хвилі ~ 260 нм, [43–48] природно підходить для сонячно сліпого УФ-детектування. Отже, Ga_2O_3 привернув велику увагу нещодавно, та його характеристики сонячно-сліпого УФ-детектування були продемонстровані в різних структурах пристроїв, включаючи структуру МЗМ (структура яка характеризується наявністю порожнин або каналів з діаметром в інтервалі 2-50 нм.), перехід Шотткі та гетероперехід структура [49–52].

Плівкові фотодетектори на основі TiO_2 . Широкий діапазон TiO_2 (3,2 еВ для анатазу та 3,0 еВ для структури рутилу) робить його дуже придатним для УФ-детектування [53]. До цього часу були продемонстровані та досліджені УФ-фотодетектори на основі TiO_2 , включаючи структуру МЗМ, структуру Шотткі та структуру гетеропереходів.

До цього часу більшість УФ-фотодетекторів на основі TiO_2 засновані на структурі МЗМ. У 2007 р. Анатаз (метастабільна мінеральна формула діоксиду титану (TiO_2)) TiO_2 фотоприймачі МЗМ виготовляли золь-гелевим методом на Si субстрат [54]. При зміщенні 5 В темний струм і чутливість при 260 нм становили близько 1,9 нА та 199 А / Вт відповідно. Однак пристрій демонстрував повільну реакцію з часом зростання 6 с і час розпаду 15 с.

У 2009 р. Kong et al. [55] виготовлені TiO_2 МЗМ фотодетектори з Ni-електродом. В 5В зміщення, темний струм детектора становив лише 1,83 нА, а чутливість при 260 нм може досягати 889,6 А/Вт. Цю велику чутливість можна пояснити великим внутрішнім посиленням, пов'язаним із захопленням отворів на інтерфейсі.

У 2011 р. Shih et al. [56] виготовлений модифікований кисневою плазмою TiO_2 МЗМ фотодетектори з використанням радіочастотного магнетронного розпилення. Спектральні чутливості виготовленого МЗМ TiO_2 фотодетектори з різним часом обробки кисневою плазмою були досліджені. Було встановлено, що довжина хвилі відсічення становить близько 387 нм. З підсвічуванням 360 нм та подачею напруги 5 В з упередженням, було встановлено, що максимальна чутливість виготовлених фотодетекторів TiO_2 при обробці кисневою плазмою, 1 хв, 2 хв і 3 хв були 36 A/W, 144 A/W, 153 A/W, та 53 A/W відповідно.

Плівкові фотодетектори на основі NiO . Серед різноманітних оксидних напівпровідників із широким діапазоном оксид нікелю (NiO) є перспективним напівпровідником р-типу з широким і прямим енергетичним зазором в діапазоні 3,2 еВ - 3,8 еВ [57–59]. Він має багато переваг, таких як низька вартість, нетоксичність, прозорість у видимому світлі, тощо[60–62]. Отже, NiO має бути хорошим кандидатом для виготовлення УФ-фотодетекторів [63–66].

У 2009 році Чжао та ін. [67] використали випаровування електронного пучка, техніки вирощування Mg -легованої Ni -плівки на кварцовій підкладці. Створений фотодетектор демонстрував пікову чутливість 0,147 мА / Вт при 320 нм та зміщенні 5 В, а також у темряві струм становив близько 70 нА. У 2017 році Ахмед та ін. [68] виготовляли плівку NiO на підкладці Si (100) за допомогою RF-системи магнетронного розпилення та фотоприймачі MSM на NiO -плівці. Ультрафіолетове освітлення при 365 нм при зміщенні 5В, максимальна чутливість оцінювалася як 4,5 A/W з часом підйому та падіння 266 мс та 200 мс відповідно. Завдяки своїй природі р-типу, плівка NiO в основному використовується для виготовлення р – n гетероперехідних УФ-фотодетекторів, а інші напівпровідники n-типу, такі як Si , ZnO , TiO_2 , індій оксид цинку галію (IGZO) та органічні матеріали.

У 2005 р. Чой та ін. [69] нанесли плівку NiO на підкладку Si для утворення р – n гетеропереходу, і створили фотодетектор з чутливістю при 290 нм 0,15 А/Вт при 0 В. У 2014 році Zhang et al. [70] продемонстрував гетероперехід р-NiO / n-Si шляхом окислення Ni, нанесеного на підкладку n-Si, і фотодетектор на основі цього гетеропереходу показав максимальну чутливість 0,815 А/Вт при зміщенні -2 В.

У 2015 році Li et al. [70] виготовили фотодетектор n-IGZO / p-NiO на оксиді олова індію скло з використанням техніки магнетронного напилення. Який має такі властивості: 3В зміщення, пікова чутливість 0,016 А/Вт спостерігалася при довжина хвилі ~ 370 нм з повною шириною на половині максимуму менше 30 нм. Ця висока селективність спектру може бути пояснена за допомогою функції "оптичного фільтрування".

Таким чином в роботі проведено огляд ультрафіолетових фотодетекторів на основі напівпровідникових плівок з оксидом який має широкий зазор, в т.ч. ZnO, ZnMgO, Ga₂O₃, TiO₂ та NiO. Метод росту матеріалів, класифікація фотодетекторів та розвиток продуктивності пристроїв було розглянуто та узагальнено. Систематичне порівняння характеристик фотодетекторів на основі цих пристроїв узагальнено в таблиці 2.2. Ці пристрої можуть відігравати значну роль в екологічному моніторингу, медичному аналізі, оборонній технології та протипожежному захисті завдяки своїм особливим характеристикам великої ширини зазору, технологічне рішення, низька вартість, екологічність тощо. Незважаючи на отримання значних результатів в сфері нанесення та дослідження широкозонних оксидних напівпровідникових плівок, потрібно проводити додаткові дослідження стосовно розробки УФ-фотодетекторів на основі напівпровідників оксиду з широкою смугою зазору, такі як легування р-типу, вдосконалення якості матеріалів, дизайн конструкції пристрою і так далі.

Таблиця 2.2

Систематичне порівняння характеристик фотодетекторів

Структура	Темний струм, нА	Пікова чутливість (A/W)	Час наростання, мс	Час розпаду, мс
ZnMgO MSM	2.5×10^{-4}	1.664	-	1000
ZnMgO MSM	4×10^{-3}	32	-	37
ZnO TFT	-	3.8×10^5	280	440
ZnO TFT	3.5×10^{-3}	6.83×10^3	300	310
Ga ₂ O ₃ MSM	-	8×10^5	-	-
Ga ₂ O ₃ MSM	0.31	-	620	830
Ga ₂ O ₃ MSM	0.62	17	-	-
ZnGaO MSM	0.02	210	3200	1400
Ga ₂ O ₃ MSM	34	26.1	480	180
Ga ₂ O ₃ Schottky	0.01	2.9×10^{-3}	0.001	0.06
Ga ₂ O ₃ /GaN	0.0358	~2	-	-
Ga ₂ O ₃ /Si	850	370	1790	270
Ga ₂ O ₃ /SiC	0.509	0.18×10^4	650	1730
Ga ₂ O ₃ /ZnO	1×10^{-3}	1.1	0.238	3.04
TiO ₂ MSM	1.9	199	6000	15000
TiO ₂ MSM	1.83	889.6	13.34	11430
TiO ₂ MSM	-	153	-	-
TiO ₂	-	0.352	0.03	0.063
TiO ₂ Schottky	-	0.897	1.12	1.46
TiO ₂ /SrTiO ₃	0.2	46.1	3.5	1400
TiO ₂ /NiO	0.033	181.9	717	598
TiO ₂ /Si	-	0.046	10	15
TiO ₂ /diamond	0.012	0.023	60	600
MgNiO MSM	70	1.473×10^{-4}	-	-
NiO MSM	-	4.5	266	200
NiO/IGZO	6.5×10^{-3}	0.016	-	-
NiOZnO	-	-	27.9	62.8

Висновки до розділу 2

В даному розділі відзначається головна інформація, щодо огляду різних конструкцій та модифікацій приладів для вимірювання ультрафіолетового випромінювання, такі як:

- ультрафіолетовий детектор на основі поверхневої акустичної хвилі, осциляторна система із зондуванням наноструктури ZnO матеріалу;
- ультрафіолетовий фотодатчик поверхневої акустичної хвилі на основі ZnO;

- виготовлення плівки ZnO / кварцу ST-зрізу при кімнатній температурі для кварцового ПАХ УФ-фотодетектору з малим температурним коефіцієнтом;

- ультрафіолетові фотодетектори на основі широкозонного оксиду напівпровідникові плівки.

Більш наглядно можна побачити проаналізовані конструкції з різною конфігурацією за допомогою рисунків, характеристики даних конструкцій та їх відгуки. Описано розробку даних модифікацій, їх переваги та недоліки та узагальнено інформацію щодо фотодетекторів на основі різних матеріалів у підпунктах 2.4.1. – 2.4.4. та побачивши це у табл.2.2 – Порівняння характеристик фотодетекторів.

3 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ УФ НА ОСНОВІ CDS

3.1. Створення технічного завдання на дослідно-конструкторську розробку приладу

1. Вхідні дані.

Назва приладу: «Назва приладу: «Пристрій для вимірювання ультрафіолетового випромінювання».

2. Призначення та область застосування.

Датчики ультрафіолету потрібні для використання не тільки в таких традиційних областях їх застосування, як медицина, біологія, екологія, а і в нових, до яких відноситься оптична комунікація на УФ випромінюванні, вивчення сонця та атмосфери в світовому діапазоні 300–400 нм, вивчення атмосфери планет та екосфери Марса, для створення ультрафіолетового нітратного сенсора з метою створення мапи забруднення океанів, для аерозольного флуоресцентного сенсора, котрий виявляє біологічні частинки, присутні в повітрі, та інше.

3. Цілі.

Отримати один екземпляр схеми приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання.

4. Аналоги.

- Тензор-53;
 - UVM фірми Apogee Instruments Inc. (США) з вбудованим широкополосним сенсором (250-400 нм);
 - UVM-SS з сенсором, приєднаним до мікропроцесорного блоку
- #### **5. Склад приладу:**
- датчик ультрафіолету;
 - підсилювач вхідного сигналу;
 - аналогово-цифровий перетворювач;

- мікроконтролер;
- індикатор відображення інформації;
- батареяка 9В.

6. Технічні характеристики.

У табл. 3.1 представлені технічні характеристики розробленого приладу.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики розробленого приладу

Тип датчика	Фотодіод
Матеріал датчика	CdS
Область спектральної чутливості, нм	200-520
Положення максимуму чутливості, нм	480
Монохроматична чутливість ($\lambda=400\text{нм}$), не менше, А/Вт	0,2
Площа ФЧЕ, мм^2	25

3.2. Технологія отримання датчика УФ

Процес виготовлення датчика ультрафіолету на основі CdS був проведений на базі інституту ім.Лашкарьова. Полікристалічні шари CdS товщиною 4–5 мкм вирощувались методом квазізамкненого об'єму на металізованих діелектричних пластинах і слугували орієнтуючими підкладками для подальшого епітаксійного росту гетероструктур (ГС). Концентрація основних носіїв струму – електронів визначалась із вимірів вольт-фарадних характеристик стандартною методикою і знаходилась в межах $n = 10^{14} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [71]. Фізичні властивості сполук CdS визначаються вмістом власних точкових дефектів ґратки, які мають низьку енергію іонізації та виявляють високу електричну активність [72–74]. Регулюючи концентрацію власних дефектів ґратки шляхом зміни умов приготування кристалів, можна варіювати в широкому діапазоні концентрацію вільних

носіїв в отриманих зразках CdS і одержувати достатньо високу концентрацію основних носіїв струму без додаткового легування сторонніми домішками. Складніша ситуація в разі використання твердих розчинів. Як показали дослідження при використанні твердих розчинів $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ зі значеннями параметра твердого розчину $x > 0,5$ (зі збільшеною частиною компонента Zn в складі ТР) доводиться мати технологічні труднощі, які характерні і для ZnS і ZnSe (і які не існують при $x < 0,5$ для ТР $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$) [75, 76]. Складність полягає в отриманні низькоомної плівки ТР і створенні до неї омичного контакту.

В роботі зазначена проблема вирішується шляхом створення на полікристалічній текстурованій підкладці CdS багат шарової гетероструктури з проміжними варізонними шарами. Як показано в [75,76], при вирощуванні варізонних шарів на низькоомних підкладках CdS, точкові дефекти ґратки донорного типу в халькогеніді кадмію стимулюють утворення відповідних дефектів в наступних епітаксійних шарах. Проростання точкових дефектів з шару CdS через варізонні шари в фотоактивний шар призводить до формування $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ з концентрацією $n \geq 10^{16} \text{ см}^{-3}$, що є достатньою для ефективної роботи фотоперетворювача (ФП). Крім того, формування проміжного варізоного шару, як зазначалося вище, є необхідним для зниження структурних дефектів, пов'язаних з неузгодженістю.

Постійних ґраток фотоактивного епітаксійного шару $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ і матеріалу підкладки CdS. Таким чином, технологічний процес отримання ФП включав послідовне вирощування на CdS підкладках наступних шарів: варізонні шари, а саме $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ (із збільшенням x в напрямку зростання) і фоточутливого шару ТР $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ зі складом, який задається ($x = 0,6$ або $x = 0,7$). Гетероструктури вирощувалися в єдиному технологічному циклі методом термічного випаровування з двох автономних джерел халькогенідів цинку і кадмію з наступною конденсацією на металізованій ситаловій

підкладці в квазізамкненому об'ємі. Метод отримання варізонних шарів відрізняється від відомих і дозволяє отримувати варізонні шари для всього інтервалу значень x від нуля до одиниці [72,73,77,78]. При нашому методі температура джерел CdS і ZnS регулюється, що дозволяє змінювати густину компонентів біля підкладки і, відповідно, контролювати співвідношення Zn і Cd у варізонних шарах. Параметр x в TP $Zn_xCd_{1-x}S$ визначався шляхом вимірів ширини забороненої зони (E_g) і параметрів кристалічної ґратки для конкретного TP. Враховувалась лінійна залежність E_g від компонентного складу TP, та закону Вегарда. В наших експериментах x визначався з точністю (3– 4)%. Елементний склад і його зміна по товщині конденсованих варізонних шарів структури досліджувались методом електронної оже-спектроскопії за допомогою надвисоковакуумного оже-мікроскопа марки JAMP фірми JEOL.

Концентрація халькогена стала по товщині плівки, концентрація цинку зменшується, в той час, як концентрація кадмію зростає від поверхні в глибину плівки. Розподіл елементів свідчить про наявність в досліджуваних матеріалах плавного переходу від TP з надлишком Zn до TP з надлишком Cd [79].

Процес виготовлення фотоприймача поетапно:

Використовуємо кварцевий стакан с двома відростками, які потрібні для двох порошків, у нашому випадку CdS та ZnS. В стакан насипаємо CdS (1 гр.) та ZnS (0,5 гр.). Кварцевий стакан зображений на рис. 3.1.

Нагрівач, на який намотаний молібденовий дріт, називають нагрівачем відростка. Ставимо екран.

Є два екрани: маленький – для того, щоб порошок не вискакував із стакану, оскільки нагрів не однорідний, концентрація по об'єму різна – тому вміст здатний трохи «вибухати», і для захисту підкладки потрібний цей екран, та основний екран – слугує для того, щоб підігрівати пари, які

утворилися в результаті сублімації порошків. Екрани виготовляються з молібдену.



Рис 3.1. Кварцевий стакан з двома відростками

Ставимо 4 термопари для реєстрації (2 знизу на відростках, термопара камери та термопара ситалової пластини) (див. рис. 3.2).



Рис 3.2. Вакуумне обладнання, екрани та термопара

В якості підкладки ми використовуємо ситал (діелектрик), на який попередньо був нанесений прошарок молібдену, який виконує функцію струмоз'єдного контакту. Для створення певної геометрії плівки, що напилюється, ми використовуємо металеву маску в якій зроблено певний отвір, що відповідає потрібній геометрії. Зображена на рис.3.3.



Рис 3.3. Металева маска

Після встановлення усіх елементів до камери, опускаємо вакуумний ковпак. Температура для CdS -780 ° С , а для ZnS – 900 ° С. Вмикаємо форвакуумний насос. Після 15-20 хвилин роботи форвакуумного насосу вмикаємо дифузійний насос для отримання відповідного рівня вакууму (10^{-4} мм.рт.ст). Вакуумне обладнання з вакуумним ковпаком зображенні на рис. 3.4.



Рис 3.4. Вакуумне обладнання

Після отримання відповідного рівня вакууму вмикаємо нагрівачі. Спочатку випаровується порошок CdS, через 25 хвилин, вмикаємо нагрівач для ZnS і при досягненні температури 900°C , тримаємо цю температуру впродовж 10 хвилин, коли йде випаровування порошку ZnS.

Готовий екземпляр, який потім відправляється на корпусування представлений на рис. 3.5.



Рис 3.5. Готовий екземпляр

3.3. Розробка схеми електрично структурної

Робота пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання забезпечується такими блоками: датчик ультрафіолету, підсилювач вхідного сигналу, аналогово-цифровий перетворювач, мікроконтролер та індикатор для відображення інформації.

На рис 3.6. зображено схему електрично структурна для відображення основних блоків та зв'язків між ними.

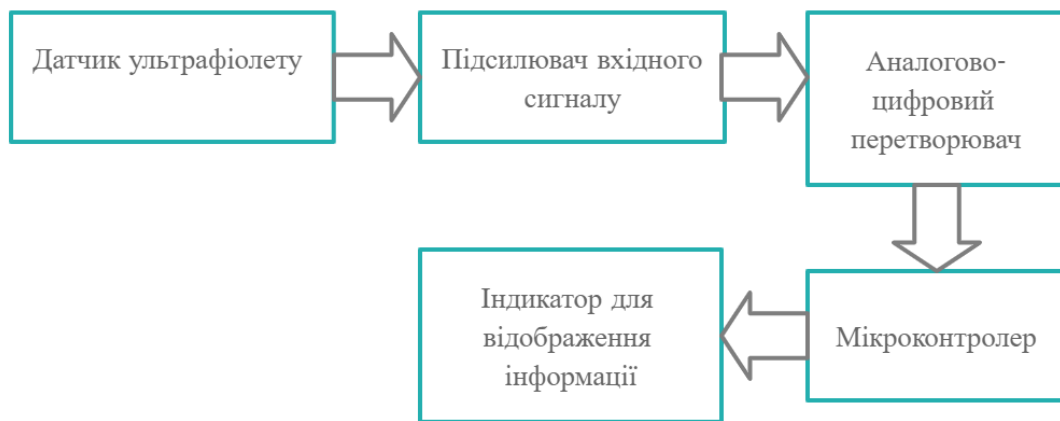


Рис 3.6. Схема електрична структурна

У табл. 3.2 представлено головні елементи блоку та їх призначення.

Таблиця 3.2

Функціональні елементи блок-схеми	
Назва	Призначення
Датчик ультрафіолету	Приймач оптичного випромінювання, який перетворює попадаючий на його фоточутливу область світло в електричний заряд за рахунок р-п переходів. Таким приймачем є фотодіод виготовлений на основі CdS.
Підсилювач вхідного сигналу	Пристрій, призначений для посилення вхідного сигналу без спотворення його частоти та форми, для подальшого його обробки.
Аналогово-цифровий перетворювач	Пристрій, призначений для перетворення вхідного аналогового сигналу в дискретний код (цифровий сигнал), який кількісно характеризує амплітуду вхідного сигналу.
Мікроконтролер	Автономна система з периферійними пристроями, пам'яттю і процесором, яку можна використовувати в якості вбудованої системи для використання в автоматично контрольованих пристроях для виконання попередньо визначених і заздалегідь запрограмованих завдань.
Індикатор для відображення інформації	Пристрій для відображення інформації, а саме величини енергетичної освітленості ультрафіолетовим випромінюванням. В якості якого використаний 7-ми сегментний індикатор на 4 розряди з загальним катодом.

У табл. 3.3 представлено головні елементи блоку підсилювача вхідного сигналу на основі перетворювача “струм-напруга” та їх призначення.

Таблиця 3.3

Функціональні елементи блоку підсилювача вхідного сигналу та їх призначення

Назва	Призначення
Операційний підсилювач (OP)	Підсилювач постійного струму з диференційним входом, що має високий коефіцієнт підсилення. Призначений для виконання різноманітних операцій над аналоговими сигналами, переважно, в схемах з негативним зворотним зв'язком
Резистор (R1)	Потрібен за технічними вимогами до операційного підсилювача
Резистор (R2)	Потрібний із-за неідеальності операційного підсилювача
Резистори (R4-R6)	Потрібні для вимірювання різних напруг
Діод Шотткі (UVD)	Відіграє роль генератора струму
Конденсатор (C1)	Працює як фільтр, потрібен щоб зменшити шуми на виході схеми
Конденсатори (C2-C4)	Призначенні для подавлення високочастотних шумів

3.4 Розробка схеми приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання

На основі структурної схеми розроблено принципову схему приладу. Для цього використовуємо програму KiCad EDA[80].

В дод. Б зображено принципову схему приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання.

Максимальний струм на виході мікроконтролера 20мА. Струм одного сегменту індикатора до 30мА. При R2-R9=220 Ом струм сегмента близько 14мА, що менше 20мА і тому такий струм забезпечує достатньо яскраве свічення сегментів індикатора.

Резистори R10-R13 потрібні для обмеження струму бази на рівні

$$I = \frac{V_{cc} - V_{be}}{300} = \frac{5 - 1.2}{300} = 13 \text{ мА}, \quad (3.1)$$

де V_{cc} – напруга живлення, V_{be} – падіння напруги на переході база – емітер.

Можливо зменшити опір до такого номіналу, щоб струм не перевищував значення – 20мА.

Струм, що протікає через стабілітрон зменшиться при підключенні навантаження, так як частина його потече через навантаження. Якщо струм через стабілітрон стане менше мінімального струму стабілізації стабілітрон перестане стабілізувати напругу і вся напруга живлення виявиться прикладеною до навантаження. З цього можна зробити висновок, що при відключеному навантаженні струм через стабілітрон має дорівнювати сумі 2-х струмів, мінімального струму стабілізації та струму навантаження. Ця сума струмів задається за допомогою резисторів R1, R11, номінали яких розраховуються за формулою:

$$R = \frac{U_{in} - U_z}{I_z + I}, \quad (3.2)$$

де U_{in} – вхідна напруга, U_z – напруга стабілізації, I_z – мінімальний струм стабілізації, I – струм навантаження. R15 та R16 – підтягуючий резистор, потрібний, щоб гарантувати на логічному вході, з яким з'єднаний провідник, високий або низький рівень у випадках:

- провідник не з'єднаний з логічним виходом;
- приєднаний логічний вихід знаходиться в високоімпедансному стані;
- коли розімкнений ключовий елемент на приєднаному логічному виході, який влаштований як відкритий вивід ключового елементу. Ключовим елементом є транзистор, а відкритим виводом – колектор, емітер, стік або витік.

C1 – C6, C8, C9 та R18 беремо такими, які рекомендовані виробником мікроконтролера. Номінал RV1 потрібно брати достатньо низький, щоб сигнал не був з перешкодами.

3.5. Розробка печатної плати у програмному середовищі KiCad EDA

Розробка печатної плати виконувалась у програмному середовищі KiCad EDA [80]. Розроблена печатна плата приладу зображена на рис 3.7.

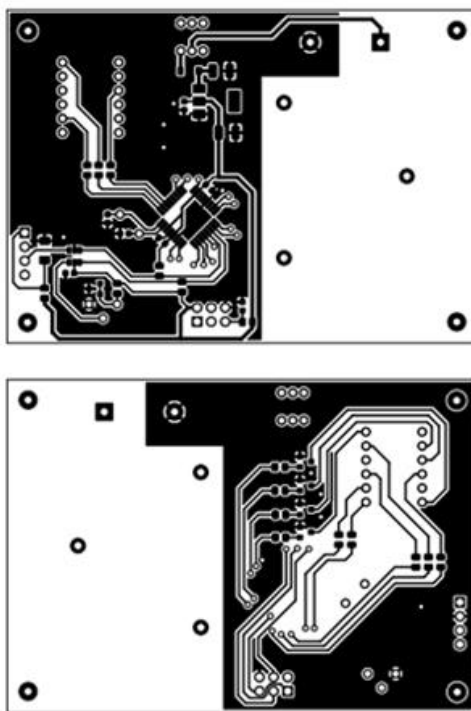


Рис 3.7. Плата приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання у програмному середовищі KiCad EDA

На рис 3.8. зображено моделювання плати приладу у програмному середовищі KiCad EDA. Розміри плати – 85х60мм. Матеріал – склопластик.

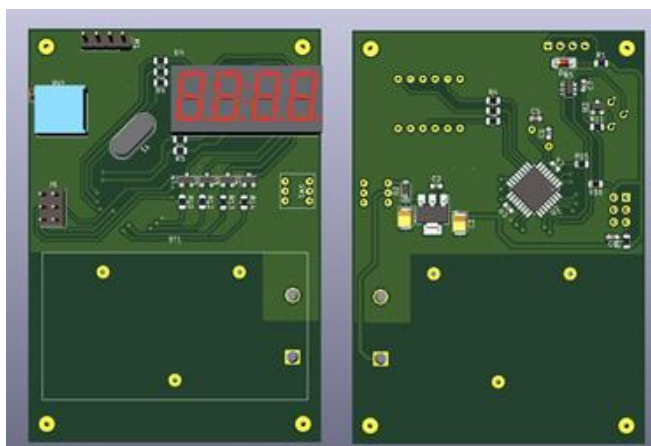


Рис 3.8. Апаратна частина у програмному середовищі KiCad EDA

3.6. Технологічний процес виготовлення плати

Після завершення розробки конструкторсько-технологічної документації виконується технологічний процес виготовлення плати. Цей процес включає в себе виготовлення печатної плати, компоновку приладу, пайку компонентів та програмування приладу.

Процес виготовлення плати не є складним, так як включає в себе стандартну технологію. На початку на підготовану пластину фольгованого склотекстоліту (можна також використовувати фольгований гетинакс) наноситься малюнок креслення друкованої плати. Це можна виконати як шляхом теплового перенесення креслення надрукованого на спеціальному глянцевого папері за допомогою лазерного принтера, так і дорогим методом – за допомогою використання фоторезисту. Після того як на мідну фольгу нанесено малюнок доріжок, виконується травлення плати. Для травлення плати можна застосовувати різні методи на різних (спеціальних) травниках. Дана плата була витравлена за допомогою агресивного кислотного середовища (розчин хлорного заліза). Також на даному етапі виготовлення можуть застосовуватися фрезерні станки, електро-хімічний метод, та ін [81].

Після повного травлення непокритих тонером ділянок плати (так званого – формування провідних доріжок) плата промивається та сушиться. Наступний етап це процес лудіння. Лудіння теж може здійснюватися декількома методами. Найдоцільніше використовувати сплав Розе або сплав Вуда, але сплав Вуда володіє високою токсичністю.

Сплав Розе олов'яно-свинцево-вісмутовий сплав який має високу адгезію та низьку температуру плавлення, що забезпечує покриття доріжок тонким шаром сплаву при відносно не високих температурах (80-100 °C).

Процес свердління отворів для монтажу компонентів зазвичай виконується після процесу лудіння, але також може виконуватися безпосередньо перед лудінням, так як це не дуже впливає на якість готового

виробу. При свердлінні отворів, розмір свердла обирається відповідно до розміру ніжок елемента що буде поміщений в отвір.

Компоновка плати приладу відбувається виключно в повній відповідності до електрично принципової схеми.

Пайка відбувається за допомогою каніфолі (можна використовувати кислоти, але вони знижують час роботи приладу так як з часом пошкоджують ніжки та безпосередньо компоненти), та м'якого олов'яно-свинцевого сплаву, наприклад: ПОС-60, ПОС-40, ПОС-30. Сам процес виконується за допомогою паяльника потужністю 25-40 Вт (не рекомендується використовувати паяльник більшої потужності щоб уникнути перегріву елементів чи розшарування доріжок), або за допомогою паяльної станції будь якої фірми виробника (рис 3.9).



Рис 3.9. Паяльна станція "4 в 1" Handskit 909D

Програмування та перевірка роботи програм відбувається після повного завершення пайки та при повній комплектації стенду. Це відбувається за допомогою спеціального програматора для мікроконтролерів, та спеціалізованого програмного забезпечення.

3.7. Програмне забезпечення приладу у програмному середовищі AtmelStudio7

Для створення програмного забезпечення використано програмне середовище AtmelStudio7 зображене на рис. 3.10[82].

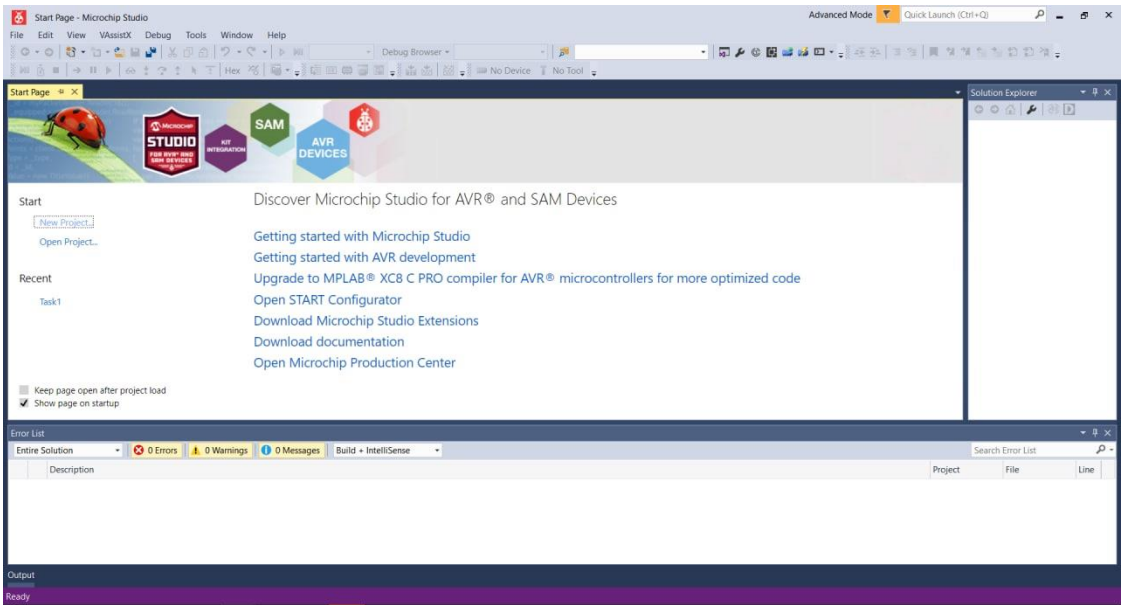


Рис 3.10. Вигляд головного вікна AtmelStudio7

Роботу приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання забезпечує три файли:

- 1. main.c
- 2. _7seg_display.h
- 3. _7seg_display.c

У табл. 3.4 приведена характеристика та призначення вихідних кодів.

Таблиця 3.4.

Характеристика та призначення вихідних кодів

Назва вихідного коду	Призначення
_7seg_display.h	Бібліотеки для роботи з семи сегментним індикатором. Містить функції для виводу чисел на індикатор.
_7seg_display.c	
main.c	Файл з кодом основної програми. Виконує функції налаштування периферії, зчитування та обробку значень з АЦП

Вміст файлів приведений в дод. А.

Вихідний код був написаний за допомогою мови програмування “С”.

С – універсальна мова програмування, яка чудово підходить для написання програмного забезпечення як системного, так і прикладного[83].

Як і більшість імперативних мов, заснованих на традиції АЛГОЛ, С має можливості для структурного програмування і дозволяє здійснювати рекурсії, у той час, як система статичної типізації даних запобігає виникненню багатьох непередбачуваних операцій. У С увесь виконуваний код міститься у функціях. Параметри функції завжди передаються за значеннями. Передача параметрів за вказівником реалізовується шляхом передачі значення вказівника. Гетерогенні сукупності типів даних (структури) дозволяють пов'язаним типам даних бути об'єднаними і маніпулювати ними, як єдиним цілим.

С також має такі специфічні властивості:

- змінні можуть бути прихованими у вкладених блоках;
- слабка типізація; наприклад, символи можуть використовуватися, як цілі числа;
- низькорівневий доступ до оперативної пам'яті шляхом перетворення машинних адрес на вказівники;
- вказівники на функції і дані підтримують динамічний поліморфізм;
- індексація масивів як вторинне поняття, визначається у термінах арифметики вказівників;
- стандартизований препроцесор С для макроозначення, включення файлу з джерельним кодом, умовної трансляції тощо;
- відсутність вбудованих операторів вводу-виводу, потоків, обробки рядків і чисел з рухомою комою. Вся ця функціональність реалізується у бібліотеках виконання;
- відносно невелика кількість зарезервованих слів (32 у С89, і 37 у С99);

- лексичні структури, які нагадують В більше за ALGOL, наприклад:
 - { ... } на відміну від ALGOL'івського begin ... end;
 - знак рівності для призначення (копіювання), як це робиться у мові Fortran;
 - два знаки рівності використовуються для перевірки рівності (подібно до .EQ. у Fortran'і або одного знаку рівності у BASIC);
 - && та || на відміну від ALGOL'івських and та or (цим вона семантично відрізняється від бітових операторів & та |);
 - велика кількість арифметичних і логічних операторів, на кшталт +=, ++, &=,.....

3.8. Принцип роботи приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання

Датчиком для вимірювання інтенсивності УФ випромінення мною було обрано ФПД-1, який розроблений на базі інституту фізики напівпровідників ім.Лашкарьова (рис. 3.11).



Рис 3.11. Датчик ультрафіолету ФПД-1 на основі CdS

Який має наступні характеристики:

- матеріал напівпровідника : CdS;
- фоточутлива площа: 25мм²;
- спектральний діапазон: 200÷520нм;
- положення максимум чутливості: 480нм;
- фоточутливість у максимумі: 0,20А/Вт.

Якщо потрібно розробити прилад для вимірювання УФ випромінювання з більш вузьким спектральним діапазоном, можна замінити ФПД-1 на інші датчики ультрафіолету, які виготовляються також на базі інституту ім.Лашкарьова, а саме: ФПД-1А, ФПД-1В та ФПД-1С. Характеристики яких можна зрівняти за допомогою табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Порівняльні характеристики розроблених УФ-сенсорів і фотодіодів провідних закордонних фірм

Тип сенсора	Матеріал напівпровідника	Фото-чутлива площа, мм ²	Спектральний діапазон, нм	Положення максимуму чутливості, нм	Фото-чутливість у максимумі, А/Вт
Розроблений сенсор ФПД-1	CdS	25	200 ÷ 520	480	0,20
Фотодіод G 1963 (Hamamatsu, Японія)	GaP	21	200 ÷ 550	440	0,12
Розроблений сенсор ФПД-1А	CdS + фільтр	25	310 ÷ 395	370	0,10
Фотодіод JEC 1 A (Electro-Optic.Com.Inc, США)	SiC+ фільтр	1	335 ÷ 395	340	0,04
Розроблений сенсор ФПД-1В	CdS + фільтр	25	270 ÷ 320	293	0,035
Фотодіод GUVB-S10ED (Genikom Co., Ltd., Корея)	AlGaN	0,076	240 ÷ 320	300	0,01
Розроблений сенсор ФПД-1С	CdS + фільтр	25	245÷280	266	0,025
Фотодіод JEC 1 (Electro-Optic.Com.Inc, США)	SiC+ фільтр	1	220÷275	265	0,10

Напруга на виході модуля прямо пропорційна інтенсивності випромінювання. Типове значення напруги на виході при відсутності випромінювання становить $V_{\min} = 1\text{В}$. Типове значення напруги на виході при інтенсивності випромінювання 10мВ/см^2 . $V_{\text{out}} = 2,2\text{В}$. Лінійно екстраполюючи V_{\min} та V_{out} знаходимо, що максимальне значення напруги на виході при інтенсивності випромінювання 15мВ/см^2 складає $V_{\max} = 2,8\text{В}$. Отже для вимірювання інтенсивності потрібно вимірювати напругу у межах від 1В до 2,8В. Розмах вихідної напруги $V_{\text{p-p}} = 2,8 - 1 = 1,8\text{В}$.

Для вимірювання напруги було обрано 16-бітний диференціальний цифро-аналоговий перетворювач ADS1110 компанії “Texas Instruments” (рис 3.12), з внутрішнім опорним джерелом напруги на 2.048В[84].



Рис 3.12. Цифро-аналоговий перетворювач ADS1110

Відміні особливості ЦАП:

- повноцінна система збору даних SOT23-6;
- вбудоване джерело опорної напруги: $2,048\text{В} \pm 0,05\%$;
- вбудований буферний підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення;
- вбудований задаючий генератор;
- точність вимірювання 16 біт без пропуску кодів;
- загальна нелінійність: 0,01% від повного вхідного діапазону;
- безперервне самокалібрування;
- одноктактне перетворення;

- програмована швидкість семплювання: від 15 до 240 відс./сек.;
- I²C інтерфейс з 8 доступними адресами;
- діапазон напруг живлення: 2,6В до 5,5В;
- малий споживаний струм: 240мкА.

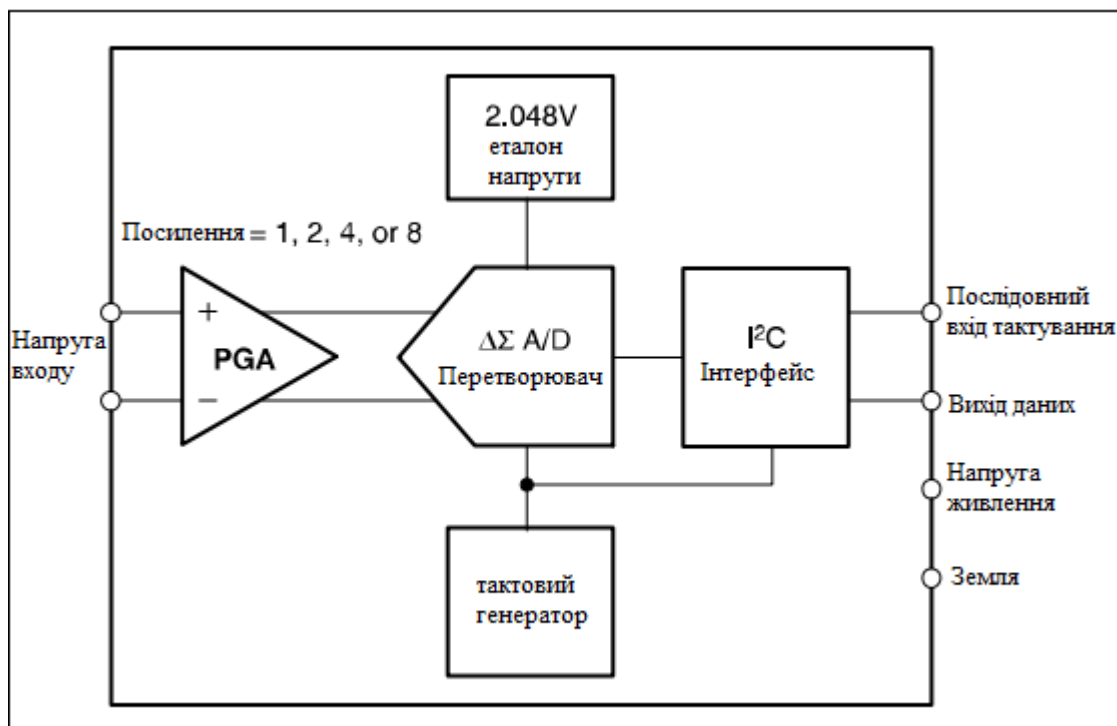


Рис 3.13. Структурна схема цифро-аналогового перетворювача ADS1110

Розташування виводів ЦАП ADS1110 зображено на рис 3.14.

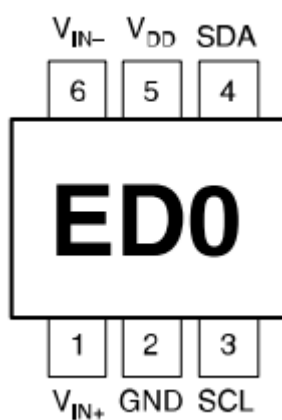


Рис 3.14. Розташування виводів

Диференціальний вхід дозволяє на інвертуючий вхід подати напругу рівну V_{\min} , а на неінвертуючий – напругу з датчика, це підвищить точність вимірювань оскільки зменшить межі вимірювання. Крок з яким буде вимірюватися напруга:

$$\Delta U = \frac{U_{ref}}{2^n} = \frac{2.048}{2^{16}} = 31.25 \mu V . \quad (3.3)$$

Для формування напруги на інвертуючому вході використано формувач опорної напруги на TL431 (U3) та дільник напруги у вигляді змінного резистора RV1. Резистор R11 – баластний опір, підключений в коло для забезпечення стабільності.

Для індикації значень було обрано семи сегментний 4 знаковий індикатор (U4) з загальним катодом. Керування даним індикатором виконується методом динамічної індикації. Резистори R2-R9 обмежують струм на світло діодах кожного з одно іменних сегментів. Транзистори BC817 (Q1-Q4) слугують для ввімкнення однієї з 4 груп сегментів для кожного знака. Резистори R10-R14 слугують для обмеження струму бази транзисторів.

Мікроконтролер ATmega88A-PU компанії Microchip (рис 3.15) керує семи сегментним індикатором та зчитує значення напруги з АЦП (ADS1110)[85].



Рис 3.15. Мікроконтролер ATmega88A-PU

Основні параметри:

- виробник : Microchip;

- ядро: AVR;
- розмір програмної пам'яті: 8кБ;
- ширина шини даних: 8біт;
- роздільна здатність АЦП: 10біт;
- максимальна тактова частота: 20МГц;
- розмір ОЗУ даних: 1кБ;
- робоча напруга живлення: 1,8В до 5,5В;
- мінімальна робоча температура: -40°C
- максимальна робоча температура: +85°C
- кількість каналів АЦП: 8.

Зв'язок з АЦП виконується по протоколу I²C. Резистори R15-R16 слугують для підтяжки ліній зв'язку SDA та SCL до напруги живлення. Зовнішній кварцевий резонатор Y1 з частотою 16 МГц забезпечує роботу тактового генератора мікроконтролера. Конденсатори C5, C6 забезпечують запуск та стабільну роботу генератора. Роз'єм J1 слугує для програмування мікроконтролера. Резистор R17 та конденсатор C6 слугують для захисту лінії збросу мікроконтролера від випадкових завад.

Живлення схеми відбувається від батареї на 9В. Для захисту схеми від випадкової переполюсовки живлення встановлено діод Шотккі 1N5819 (D2) з малим прямим падінням напруги. Лінійний стабілізатор напруги AMS1117-5.0 (U1) на 5В та максимальним струмом 800мА забезпечує живлення мікроконтролера. Стабілітрон D1 на 3.3В формує напругу для живлення давача ML8511. Резистор R1 баластний резистор для стабілітрона D1. Конденсатори C1-C4, C7 – фільтруючі.

3.9. Розрахунок собівартості приладу

Собівартість – сума витрат на виробництво і реалізацію одиниці продукту, також це зовнішній показник, так як від неї залежить прибуток і рентабельність при виготовленні в промислових масштабах.

Табл. 3.6 містить інформацію про витрати на сировину, основні, допоміжні матеріали, закуплені вироби та напівфабрикати, тобто витрати, які можна безпосередньо обчислити на одиницю продукції на підставі витратних норм і цін. Марка використаного матеріалу також приведена і має досить важливий вплив на ціну та якість, а також процес розробки будь-якого етапу в створенні виробу.

Таблиця 3.6

Розрахунок витрат на матеріали, покупні вироби та півфабрикати

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Марка	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Основні матеріали					
Припій	г	Пос-61	25	56	28,00
Флюс	мл	F1	20	25	17,00
Спирт	мл	ГОСТ 18300	100	90	9,00
Хлорне залізо	г	ТУ600	50	0,18	9,00
Склотекстоліт	м ²	СТЕФ-1	0,01	12000	120,00
Сплав Вуда	г		5	1,85	9,25
Разом :					192,25
Покупні компоненти виробу					
Мікроконтролер	шт	ATmega88PA-AU	1	29,50	29,50
Мікросхема АЦП	шт	ADS1110	1	52,75	52,75
Лінійний стабілізатор	шт	AMS1117-5.0	1	3,75	3,75
Індикатор семисигментний	шт	E40361-L-UR3-8-W	1	16,25	16,25
Резистор 220 Ом, 0805 5%	шт	Faithful Link	15	0,18	2,7
Резистор 110кОм, 0805, 5%	шт	Faithful Link	1	0,12	0,12
Резистор 1кОм, 0805, 5%	шт	Faithful Link	1	0,12	0,12
Резистор змінний, 1 кОм	шт	KLS	1	6,50	6,50

Продовження табл. 3.6

Конденсатор тантал 16V, 10uF	шт	AVX	2	2,50	5,00
Конденсатор SMD 0603, 22pF	шт	Samsung	2	1,25	2,50
Конденсатор SMD 0603, 100nF	шт	Faithful Link	3	1,25	3,75
Джерело опорної напруги	шт	TL431ACDBZR	1	3,75	3,75
Батарея 9В	шт	GP	1	27,50	27,50
Батарейний відсік	шт	BH-9VA	1	12,75	12,75
Кнопка	шт	PS-700L	1	2,75	2,75
Діод Шотткі	шт	1N5819	1	1,00	1,00
Транзистор біполярний	шт	BC847	4	0,50	2,00
Кварцевий резонатор 20Mhz	шт	GEYER	1	7,25	7,25
Стабілітрон 0.5W	шт	BZV55-C3V3	1	0,75	0,75
Роз'єм для програмування	шт	BHS-06	1	9,00	9,00
				Разом : 189,69	
				Всього : 381,94	

Висновки до розділу 3

Розділ 3 є головним у магістерській дисертації, так як в ньому описано поетапну розробку приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання, які програмні середовища використовувати при його розробці та ціна для виготовлення одного екземпляру, яка показує, що даний прилад є дуже дешевим у порівнянні з аналогами.

У пункті 3.2. описано технологію виготовлення головного елементу схеми – датчика ультрафіолетового випромінювання, на базі інститут ім.Лашкарьова, яка теж описана поетапно та з точним співвідношенням CdS : ZnS, температурою та часом, які потрібні для виготовлення для отримання напиленого екземпляру.

Далі описано розробку структурної блок-схеми приладу, призначення кожного елементу схеми, що дозволяє зрозуміти принцип роботи та

важливість певних компонентів. Коротко, але чітко описані етапи розробки приладу, а саме:

Розробка та виготовлення печатної плати, компоновання схеми та програмування з наведеним кодом для програмного середовища AtmelStudio7. Наведена інформація про головні елементи схеми, їхні характеристики та принцип їхньої роботи у даному приладі. Розрахована собівартість даного приладу.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

Стартап-проект – це тип бізнесу, або компанії, цілю якої є отримання доходу шляхом реалізації комерційної, або технічно нової ідеї. Із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту інформації стало простіше знаходити споживачів та інвесторів для нових ідей, а також займатись пошуком ресурсів. Але реалізація стартап-проекту супроводжується рядом ризиків, результатом якого сприяє повна не реалізація свого проекту.

Причинами цього може бути:

1. Невдала презентація проекту перед інвесторами.
2. Незатребуваність продукту на сучасному ринку.
3. Неправильний розрахунок сил та коштів, варіант розвитку коли проект збанкрутував.
4. Та багато інших.

На сучасному ринку середній шанс впровадження власного стартап-проекту вимірюється приблизно у 10-20%. Головним плюсом стартап-проекту являється – його ідея. Успішні, в доходному плані, проекти мають:

1. Просту ідею для виконання.
2. Невеликий час реалізації продукту.
3. Малу собівартість.
4. Новизну на ринку.

Одним із прикладів сучасного та успішного стартап-проекту являється: «Grammarly». Проста ідея, а саме онлайн-сервіс на основі штучного інтелекту для допомоги в написанні текстів англійською мовою. Даний сервіс є результатом інтелектуальної роботи українських студентів. На сьогоднішній день сервіс має величезний попит та перспективи до розвитку в сучасному світі. Але як і будь-яка вдала стартап-компанія, все починається з ідеї.

Етапи розробки стартап-проекту:

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту.

На цьому етапі стартап-проекту розглядається опис ідеї проекту та визначаються загальні напрями в яких буде реалізований товар, послуга чи сервіс. Головним на цьому етапі – це виділення чим саме проект відрізняється від конкурентів. Наступним підетапом являється попередня оцінка можливості успішної реалізації продукту на ринку. На базу вище написаних дії розробляється стратегія за якою буде поширюватись продукт на ринку.

2. Організація стартап-проекту.

На цьому етапі розробляється календарний план-графік для максимальної швидкої та успішної програми для стартап-проекту. Також розробляється пошук основних каналів для придбання апаратури для використання, або створення, продукту проекту. Наступним підетапом організації являється вирахування обсягу виробництва першої хвили продукту та формується в яких саме матеріальних ресурсах та персоналі потребується продукт. І заключний підпункт даного етапу – розрахунок початкових витрат на запуск стартап-проекту та загальні витрати, необхідні для старту проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту.

Для вдалої презентації та старту стартап-проекту потрібен основний обсяг інвестиційних витрат компанії. Для того, щоб зацікавити інвесторів в стартап-проекті потрібно визначити показники привабливості проекту на інвестиційному ринку. А саме:

- Запас фінансової міцності.
- Рентабельність продажів та інвестицій.
- Період окупності проекту.

Також одним із важливих показчиків для інвесторів являється основні ризики проекту та напрями для їх запобігання та як саме компанія буде реагувати на ризики та проблеми.

4. Заходи з комерціалізації проекту.

Після підготовки для успішної презентації стартап-проекту далі слід здійснити пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Цей процес включає в себе: Визначення на яку саме групу інвесторів буде фокусуватись компанія про впровадження власного стартап-проекту та виявлення зацікавленості інвесторів в власному проекті компанії. Наступним кроком являється складання інвест-пропозиції (оферти):

- Коротка характеристика проекту для попереднього ознайомлення інвесторами власного стартап-проекту компанії.

Також немало важливим шляхом для пошуку інвесторів являється планування та відвідування заходів для загального ознайомлення та просування оферти:

- Визначення комунікаційних каналів та площадок та планування заходів з просування в межах обраних шляхів;

І заключим підпунктом це планування та організація ресурсів для заходів з метою просування власної оферти. Виконання вище написаних етапів та реалізація їх послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту стартап-проекту.

4.1. Опис ідеї проекту

Опис ідеї стартап-проекту наведено нижче в табл 4.1. В данній таблиці приведено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 4.1.

Опис ідеї стартап-проекту		
Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї: Створення вимірювача ультрафіолетового випромінювання,	1. Технічна галузь	Розробка власних приладів та контроль на виробництві дози опромінення. Висока якість та швидкодія приладу.

Продовження табл. 4.1.

для обчислення, обробки та передавання інформації на дисплей про номінали та параметри прийнятої кількості дози опромінення.	2. Промислова галузь	Контроль порушень озонового шару атмосфери, моніторинг роботи реактивних двигунів, виявлення полум'я та багато інших цілей.
--	----------------------	---

Таблиця 4.2.

Слабкі та сильні сторони власного стартап-проекту та конкурентів

Технічно-економічні характеристики ідеї	Товари та концепції конкурентів				W Слабка сторона	N Нейтральна сторона	S Сильна сторона
	Власний проект	Конк . № 1	Конк . № 2	Конк . № 3			
Можливість портативного переміщення приладу	Так	Так	Так	Так		+	
Можливість вимірювання в середньохвильовому та довгохвильовому діапазоні ультрафіолетового випромінювання	Так	Ні	Ні	Ні			+
Можливість заміни фоточутливого елемента, для зміни діапазону вимірювання	Так	Так	Ні	Ні			+
Похибка вимірювань	1%	5%	10%	5%		+	

На основі табл. 4.2 про слабкі та сильні сторони власний стартап-проект має переваги на ринку серед конкурентів, та базуючись на табл. 4.1 можна виявити основні шляхи для впровадження даного стартап-проекту.

4.2. Технічний аудит ідеї проекту

Важлива частина технічного проекту в компанії на базі якого планується розробити стартап-проект являється технічна здійсненність ідеї проекту що наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

Технологічна здійсненність ідеї стартап-проекту.

Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технології	Доступність технології
Розробка приладу для швидкої, якісної обробки інформації про кількість отриманої дози опромінення без спотворення інформації для представлення її користувачу максимально точно. Та підтримка функції заміни фоточутливого елемента для виміру параметрів іншого діапазону випромінювання;	Розробка, підтримка, програмування ;	Наявна;	Доступна;

За даними з табл. 4.3 можна зробити висновок, що даний прилад має технологічну реалізацію на сучасному ринку, існують наявні та доступні технології для виробництва та реалізації ідеї даного стартапу.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Головним параметром для інвесторів являється картина ринку, та як саме продукт буде конкурентоспроможним і як компанія буде розповсюджувати товар у вже сформованому ринку. Характеристика постійних клієнтів зібрана в табл. 4.4.

Таблиця 4.4.

Характеристика постійних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Швидке, точне та якісне вимірювання отриманої дози опромінення з якими потрібно працювати.	1) Компанії, що займаються професійно на рівні серійного виробництва приладів, та які мають сервіси з ремонту пошкодженого чи дефектного товару. 2) Інженери, студенти, навчальні заклади та малі компанії, які займаються радіотехнікою та сервісним ремонтом.	Об'єм купівлі та складність використання приладу;	До продукту: • Якість; • Точність; • Велика функціональність; • Швидкодія; До компанії: • Сервісна підтримка; • Виробництво нових модулів для виміру другорядних елементів; • Розробка ПО для нових модулів;

Наступним кроком буде розпис факторів загроз та їх детальний зміст, а також розпис реакції та дії компанії для захисту від цих загроз. Ця вся інформація наведена в табл 4.5.

Таблиця 4.5.

Фактори загроз та реакція компанії на них

Фактор	Зміст загрози	Реакція компанії
1) Конкуренція.	Одна із головних загроз на ринку – конкуренція. Одною із проблем являється поставлення своєї продукції кращою ніж інший виробник на тому самому ринку	Розробка стратегії на цільовому ринку таким чином, щоб представити плюси власного виробу споживачу та розробити стратегію для утримання лояльних клієнтів.

Наведемо фактори можливостей власного стартап-проекту на ринку, приведені результати вписані в табл. 4.6.

Таблиця 4.6.

Фактори можливостей стартап-проекту

Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1) Можливість заміни фоточутливого елемента, для зміни вимірюваного діапазону, звуження його.	Змога до заміни фоточутливого елемента дає змогу споживачу самому вирішувати з якими електронними компонентами він планує працювати та також дозволяє не переплачувати за можливості, які можуть не знадобитись користувачеві.	Залучення нових клієнтів через поширення даної можливості на можливих каналах маркетингу
2) Можливість вимірювання в середньохвильовому та довгохвильовому діапазоні ультрафіолетового випромінювання	Можливість до вимірювання широкого діапазону випромінювання дає змогу користувачеві використовувати лише 1 прилад для вимірювання в 2 спектрах випромінювання.	Дану можливість можливо пропанувати компаніям, які професійно займаються детекторами ультрафіолету.

Характеристику ринку та аналіз конкуренції можна представити в табл.

4.7.

Таблиця 4.7.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип Конкуренції: чиста	В кого кращий товар, чи послуга – в того і купують.	Покращення якості товару на ринку.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Світова	Продукт проекту належить до звуженого ринку збуту.	Додавання функціоналу та орієнтації споживачів.
3. За галузевою ознакою: багатогалузева	Може бути використана в декількох галузях.	Покращення якості в будь якій із галузей.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Відрізняється функцією заміни при потребі модулів для виміру ультрафіолетового випромінювання.	Додавання відрізняючих від конкурентів функцій.
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Продукт привабливіший – чим дешевше. Чим продукт якісніший – тим рентабельніше.	Покращення цін та якості товару у порівнянні з конкурентами
6. За інтенсивністю: Не марочна	Не має жорсткої конкуренції	Має не агресивні форми піару.

Головним фактором для споживача являється – ціна та якість. В наступній табл. 4.8 записані фактори конкурентоспроможності на основі головних факторів для споживача.

Таблиця 4.8.

Фактори конкурентоспроможності.

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1) Ціна	На ринку зі схожими приладами споживач обиратиме ту, що являється найдешевшою.
2) Якість	На ринку зі схожою ціною політикою між конкурентами споживач обиратиме той продукт – який має найкращі характеристики.
3) Відомість	При рівності таких параметрів як ціна та якість споживач обиратиме товар який найбільш відомий на ринку.

За даними факторами споживач буде обирати для себе найбільш привабливий продукт на ринку в залежності від пріоритетів. Тож важливо вигравати по всіх трьох позиціях у конкурентів на цільовому ринку. Маючи всю важливу інформацію про цільовий ринок, та споживачів в цьому ринку, можна провести порівняльний аналіз сильних та слабких сторін, які представлені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1 – 20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Ціна	19						+	
Якість	17					+		
Відомість	12			+				

Підсумувати інформаційний аналіз можна SWOT-аналізом стартап-проекту який приведений в табл. 4.10.

Таблиця 4.10.

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Портативність; Простота використання; Швидкодія; Висока точність вимірювань; Економічно вигідний.	Слабкі сторони: Мала кількість початкових елементів для вимірювання (базові елементи); Функціонал;
Можливості: Можливість вимірювати будь який спектр випромінювання; Можливість додавання додаткових елементів;	Загрози: Конкуренти;

В таблиці 4.10 представлені сильні та слабкі сторони проекту, а також можливості та загрози.

4.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Для успішного старту стартап-проекту потрібна наявність маркетингової програми стартап-проекту. На основі цієї маркетингової програми будується стартова стратегія конкурентної поведінки на цільовому ринку. Результати приведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки на цільовому ринку.

Чи являється проект першопроходцем на цільовому ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні	Стратегія конкурентної поведінки
--	--	------------------------------------	----------------------------------

Продовження табл. 4.11.

Якщо розглядати прилад з структурної точки зору – ні. Аналоги даного приладу існували в минулому, але в приладі в даному стартап-проекті можна побачити покращення в точності та швидкодії, а також в нових можливостях, яких не має в конкурентів на цільовому ринку.	Стратегія компанії побудована на принципі, що клієнти будуть переходити від конкурентів за рахунок нижчої ціни, а також за рахунок вищої	Так – Загальні принципи для покращення характеристик приладу.	Агресивна стратегія конкурентної поведінки.
--	--	---	---

Визначимо ключові переваги концепції для потенційного товару.
Визначимо ці параметри в наступній табл. 4.12.

Таблиця 4.12.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1) Захоплення більш широкого спектру випромінювання.	Вимірювання в більш широкому спектрі завдяки виготовленому фотодіоду.	Використання фотодіода, який має більшу площу ФЧЕ ніж у конкурентів.
2) Висока швидкодія	Високу швидкодію обробки інформації виконує мікроконтролер.	Використання мікроконтролера з більшою кількістю шин для обробки інформації.

Важливою частиною в продажу товару на цільовому ринку – система збуту. Опишемо цю саму систему в табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Формування системи збуту

Специфікація закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які саме має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту.
Роздрібна та оптова закупівля продукту.	Збут, ремонт та налаштування товару.	Усі можливі канали збуту.	Власна.

Висновки до розділу 4

В результаті проведення маркетингового дослідження та цільового сегменту ринку, а також споживачів яких можна сформувати з даного сегменту ринку, можна зробити висновки, що починаючи стартап-проект по розробці вимірювача ультрафіолетового випромінювання можна охопити доволі широку область для привласнення клієнтів конкурентів за рахунок підвищеної якості, швидкодії, нижчої вартості та нових можливостей приладу. Також прогнозуються високі доходи починаючи зі старту продаж приладу. Даний прилад буде поширюватися на ринку електроніки, для людей, які захоплюються радіоелектронікою та вимірювальними приладами, як для професіоналів, так і для великих фірм, що спеціалізуються на складному і точному обладнанні. Аналогами для даного приладу є лише частково - готові вимірювачі з обмеженою кількістю елементів. Прямими конкурентами для даного стартапу є:

1. Вимірювачі для вимірювання ультрафіолетового випромінювання з Китайського ринку.
2. Магазины радіоелектроніки на території України (Electro Radio Group, AKS, Global Sat, MTA і тд.).

Непрямими конкурентами є інтернет форуми і сайти для радіоелектроніки (radiokot і т.д.). Стратегія для початку стартап проекту на ринку вважає в наступному:

1. Створення сайту для реклами власного приладу.
2. Збір грошей на першу хвилю приладів від зацікавлених клієнтів.
3. Створення першої хвилі приладів і продаж за низькою ціною з мінімальною націнкою для набору позитивних відгуків про товар (обов'язковою умовою при покупці даного товару - відгук від покупця).
4. На виручені гроші створити другу хвилю приладів, для продажу клієнтам, що перейдуть на сайт через позитивні відгуки. Далі ціна за товар буде рости в залежності від приросту клієнтів.

Клієнтська база проінвестує 50% першої хвилі приладів. Другу половину інвестори. При кожній наступній хвилі створення приладів, можна підвищувати ціну для кінцевого споживача, тим самим зменшуючи вплив проекту від інвесторів і поступово переходячи на дохід від клієнтів.

ВИСНОВКИ

Для досягнення мети дипломної роботи виконані такі задачі:

1. Розглянуто у повному обсязі детектори ультрафіолетового випромінювання, головні елементи приладу, матеріали на основі яких виготовляється головний компонент приладу – фотодатчик, їх властивості та характеристики. Загальна інформація щодо детекторів та вимоги які висувають до них.

2. Проведено аналіз різних конструкцій та модифікацій приладів для вимірювання ультрафіолетового випромінювання з метою розробки такого приладу, який буде економічно вигідний та відповідати технологічним вимогам, а особливо ремонтпридатного приладу в якому за необхідності можна було б замінити фоточутливий елемент на інший, що дасть змогу звузити діапазон УФ випромінювання до потрібного. Також проведений поглиблений огляд матеріалів, які використовують для виготовлення фотодетекторів, та плівок при кімнатній температурі.

3. На основі поставленої переді мною задачі розроблено технічне завдання на дослідно-конструкторську розробку приладу для вимірювання ультрафіолетового випромінювання. Згідно технічного завдання розроблено структурну блок-схему, на основі якої у програмному середовищі KiCad EDA розроблено електричну принципову схему приладу. Підібрано номінали елементів схеми, у програмному середовищі KiCad EDA розроблено та змодельовано печатну плату приладу, проведено технологічний процес виготовлення плати, після чого укомплектовано плату виключно в повній відповідності до електрично принципової схеми, після чого у програмному середовищі AtmelStudio7 було написано код для роботи приладу, яку забезпечує лише 3 файли. Розраховано витрати на матеріали та компоненти, які підкреслюють доцільність виготовлення такого приладу, його економічну та технологічну відповідність та перевагу над аналогами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nobuo Munakata. Advances in Solar Ultraviolet Spectroradiometry [Electronic resource] // Journal of Radiation Research, 1998: - Vol.39. – №2. - P.146-148. – Mode of access: WWW.URL:<https://academic.oup.com/jrr/article/39/2/146/934833>
2. В.Д. Рыжиков. Переносной измеритель ультрафиолетового излучения в биологически активных диапазонах солнечного излучения на основе полупроводника ZnSe [Электронный ресурс]/ В.Д. Рыжиков, Л.П. Гальчинецкий, Н.Г. Старжинский, Е.А. Даньшин, А.А. Авдеенко, В. Махний, В. Силин // Telec. and Radio Engineering, 1998. - Vol.55. – №5. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/284375628_A_Portable_Meter_of_the_Ultraviolet_Radiation_in_Biologically_Active_Ranges_of_Solar_Radiation_Based_on_the_ZnSe_Semiconductor
3. T. V. Blank. Semiconductor photoelectric converters for the ultraviolet region of the spectrum [Electronic resource]/ T. V. Blank, Yu. A. Gol'dberg // Semiconductors, 2003. - Vol.37. – P.999-1030. – Mode of access:WWW.URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/1.1610111>
4. Аннаева А.Р., Беркелиев А., Бессолов В.Н., Гольдберг Ю.А., Царенков Б.В., Яковлев Ю.П. Фотоприемники ультрафиолетового излучения на основе варизонной $Ga_{1-x}Al_xP$ ($x = 0,5 \pm 0,1$) поверхностно-барьерной структуры // ФТП. – 1981. – 15, вып. 6. – С. 1122-1125.
5. С.Ю. Павелец. Датчики ультрафиолета на основе твердых растворов $Zn_xCd_{1-x}S$ [Электронный ресурс]/ С.Ю. Павелец, Ю. Н. Бобренко, Т. В. Семикина, Б. С. Атдаев, Г. И. Шереметова, М. В. Ярошенко// Ukr.J.Phys., 2019 – Vol.64, №.4, - P.308 – 314. – Режим доступа: <https://ujp.bitp.kiev.ua/index.php/ujp/article/view/2018166>

6. А.Мейер и Э Зейтц « Ультрафиолетовое излучение » Москва, ,Изд-во иностранной литературы, 1952, 459с .

7. Krotkov N.A. et al. Satellite estimation of spectral surface UV irradiance in the presence of tropospheric aerosols 1. Cloud-free case. – J. Geophys. Res., 1998. – Vol. - 103(D8). - P.8779.

8. Johnson C.B. Review of ultraviolet detector technology. – Proc. SPIE, 1990. - Vol.1243. - P.2.

9. Troshichev O., Gabis I. Effects of solar UV irradiation on dynamics of ozone hole in Antarctica. – J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2005. - Vol.67. - P.93.

10. Joseph C.L. UV image sensors and associated technologies [Electronic resource]/ Joseph C.L.// Experimental Astronomy. – 1995. – Vol.6. - P.97-127. - Mode of access:WWW.URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00421128>

11. Munoz E.Group III nitrides and UV detection [Electronic resource]/ E. Muñoz, E. Monroy, J. L. Pau, F. Calle, F. Omnès and P. Gibart // J. Phys.: Condens. Matter. – 2001. - Vol.13. - №32. - P.7115. – Mode of access:WWW.URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0953-8984/13/32/316/meta>

12. Raj Korde. Stable, high quantum efficiency silicon photodiodes for vacuum-UV applications [Electronic resource]/ Raj Korde, L.Randall Canfield, Brad Wallis // Ultraviolet Technology II. - 1988. - Vol.932. - P.153. – Mode of access:WWW.URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/0932/0000/Stable-High-Quantum-Efficiency-Silicon-Photodiodes-For-Vacuum-UV-Applications/10.1117/12.946887.short>

13. M. Asif Khan. High-responsivity photoconductive ultraviolet sensors based on insulating single-crystal GaN epilayers [Electronic resource]/ M. Asif Khan, J. N. Kuznia, D. T. Olson, J. M. Van Hove, and M. Blasingame //Applied

Phys. Lett., - 1992. - Vol.60. - P.2917. – Mode of access:WWW.URL:
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.106819>

14. Peter P. Group III nitride materials for ultraviolet detection applications [Electronic resource]/ Peter P. Chow, Jody J. Klaassen, James M. Van Hove, Andrew M. Wowchak, Christina Polley, David King //Proc. SPIE. – 2000. - Vol.3948. - P.295. – Mode of access:WWW.URL:
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/3948/0000/Group-III-nitride-materials-for-ultraviolet-detection-applications/10.1117/12.382130.short>

15. Deelman P.W. Low-noise GaN Schottky diodes on Si(111) by molecular beam epitaxy [Electronic resource]/ Peter W. Deelman and Robert N. Bicknell-Tassius //Applied Phys. Lett., 2001. - Vol.78. - P.2172. – Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1357448>

16. Lee Y.C. Comparative study of the electrical characteristics of metal-semiconductor-metal (MSM) photodiodes based on GaN grown on silicon [Electronic resource]/ Y. C. Lee, Zainuriah Hassan, F.K. Yam, Mat Johar Abdullah, Kamarulazizi Ibrahim, M. Barmawi, Sugianto Sugianto, Maman Budiman, Pepen Arifin //Int. Conf. on Materials for Advanced Technologies, Singapore, 2005. – Vol.249. - №1. – P.91-96. – Mode of access:WWW.URL:
https://www.researchgate.net/publication/248193330_A_comparative_study_of_the_electrical_characteristics_of_metal-semiconductor-metal_MSM_photodiodes_based_on_GaN_grown_on_silicon

17. Conte G. Diamond Deep-UV position sensitive detectors [Electronic resource]//Proc. SPIE., 2006. - Vol.6189. - P.618910-1. – Mode of access:WWW.URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/6189/618910/Diamond-deep-UV-position-sensitive-detectors/10.1117/12.663843.short>

18. M. H. Huang. Roomtemperature ultraviolet nanowire nanolasers [Electronic resource]/M. H. Huang, S. Mao, H. Feick, H. Q. Yan, Y. Y. Wu, H.

Kind, E. Weber, R. Russo, P. D. Yang // Science., 2001. – Vol.292. - №5523. – P.1897-1899. – Mode of access:WWW.URL: <https://science.sciencemag.org/content/292/5523/1897>

19. C. J. Park. Enhanced field emission properties from well-aligned zinc oxide nanoneedles grown on the Au/Ti/n-Si substrate [Electronic resource]/ C. J. Park, D. K. Choi, J. Yoo, G. C. Yi, C. J. Lee // Applied Physics Letters 90., 2007. – Vol.90. – P.083107. – Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.2643979?journalCode=apl>

20. M. Law. Nanowire dye-sensitized solar cells [Electronic resource]/ M. Law, L. Greene, J. C. Johnson, R. Saykally, P. Yang //Nature Materials 4., 2005. – Vol.4. – P.455-459. – Mode of access:WWW.URL: <https://www.nature.com/articles/nmat1387>

21. Y. Zhang. Zinc oxide nanorod and nanowire for humidity sensor [Electronic resource]/ Y. Zhang, K. Yu, D. Jiang, Z. Zhu, H.Geng, L. Luo //Applied Surface Science 242., 2005. – Vol.1-2. – P.212-217. – Mode of access:WWW.URL: https://www.researchgate.net/publication/222140709_Zinc_Oxide_Nanorod_and_Nanowire_for_Humidity_Sensor

22. C. C. Li. Surface-depletion controlled gas sensing of ZnO nanorods grown at room temperature [Electronic resource]/ C. C. Li, Z. F. Du, L. M. Li, H. C. Yu, Q. Wan, T. H. Wang //Applied Physics Letters,. 2007. – Vol.91. – №032101. – Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.2752541?journalCode=apl>

23. A. Dorfman. Highly sensitive biomolecular fluorescence detection using nanoscale ZnO platforms [Electronic resource]/A. Dorfman, N. Kumar, J. Hahn //Langmuir., 2006. – Vol.22. - №11. – P.4890-4895. – Mode of access:WWW.URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la053270%2B>

24. N. W. Emanetoglu. Surface acoustic wave ultraviolet photodetectors using epitaxial ZnO multilayers grown on r-plane sapphire [Electronic resource]/

N. W. Emanetoglu, J. Zhu, Y. Chen, J. Zhong, Y. Chen, Y. Lu //Applied Physics Letters,. 2004. - Vol.85. - P.3702- 3704. - Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1811383?journalCode=apl>

25. A. Wixforth. Surface acoustic waves on GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ heterostructures [Electronic resource]/ A. Wixforth, J. Scriba, M. Wassermeier, J. P. Kotthaus, G. Weimann, Q. Schlapp //Physical Review,. 1989. - Vol.40. - №11. - P.7874-7887. - Mode of access:WWW.URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9991216/>

26. D.M. Bagnall. Optically pumped lasing of ZnO at room temperature [Electronic resource]/ D.M. Bagnall, Y.F. Chen, Z. Zhu, T. Yao, S. Koyama, M.Y. Shen, T. Goto//Appl. Phys. Lett,. 1997. - Vol.70. - №2230. - Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.118824>

27. Z.L. Wang. Nanostructures of zinc oxide [Electronic resource] Z.L. Wang //Mater. Today,. 2004. - Vol.7. - №6. - P.26-33. - Mode of access:WWW.URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136970210400286X>

28. O. Yamazaki. ZnO Thin-Film SAW Devices [Electronic resource]/] O. Yamazaki, T. Mitsuyu, K. Wasa//IEEE Trans. Sonics Ultrason,. 1980. - Vol.27. - №6. - P.369-378. - Mode of access:WWW.URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1539277>

29. J. Cunningham. Single-electron acoustic charge transport by two counterpropagating surface acoustic wave beams [Electronic resource]/] J. Cunningham, V.I. Talyanskii, J.M. Shilton, M. Pepper, M.Y. Simmons, D.A. Ritchie// Phys. Rev. B,. 1999. - Vol.60. - №7. - Mode of access:WWW.URL: <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.60.4850>

30. D. Nardi. Design of a surface acoustic wave mass sensor in the 100 GHz range [Electronic resource]/ D. Nardi, E. Zagato, G. Ferrini, C. Giannetti, and F. Banfi //Appl. Phys. Lett,. 2012. - Vol.100. - P.253106. - Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4729624>

31. D. S. Ballantine. Acoustic Wave Sensors: Theory, Design, and Physico-Chemical Applications [Electronic resource]/ D. S. Ballantine, Jr., R. M. White, S. J. Martin, A. J. Ricco, G. C. Frye, E. T. Zellers, and H. Wohltjen // Academic press, 1996. – №1. – Mode of access: WWW.URL: <https://www.amazon.com/Acoustic-Wave-Sensors-Physico-Chemical-Applications/dp/0120774607>

32. D. Ciplys. GaN-based SAW delayline oscillator [Electronic resource]/ D. Ciplys, R. Rimeika, A. Sereika, R. Gaska, M. S. Shur, J. W. Yang, and M. A. Khan // Electron. Lett., 2001. – Vol.37. – №8. – P.545–546. – Mode of access: WWW.URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/920014>

33. D. Ciplys. Visibleblind photoresponse of GaN-based surface acoustic wave oscillator [Electronic resource]/ D. Ciplys, R. Rimeika, M. S. Shur, S. Rumyantsev, R. Gaska, A. Sereika, J. Yang, and M. Asif Khan // Appl. Phys. Lett., 2002. – Vol.80. – №11. – P.2020–2022. – Mode of access: WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1459485>

34. A. Ohtomo. $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ as a II–VI widegap semiconductor alloy [Electronic resource] / A. Ohtomo, M. Kawasaki, T. Koida, K. Masubuchi, and H. Koinuma // Appl. Phys. Lett., 1998. – Vol.72. – №2466. – Mode of access: WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.121384>

35. Hongyu Chen. New concept ultraviolet photodetectors [Electronic resource] / Hongyu Chen, Kewei Liu, Linfeng Hu, Ahmed A. Al-Ghamdi, Xiaosheng Fang // Appl. Phys. Lett., 2015. – Vol.18. – №9 – P.493–502. – Mode of access: WWW.URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702115001972?via%3Dihub>

36. W. Yang. Ultraviolet photoconductive detector based on epitaxial $\text{Mg}_{0.34}\text{Zn}_{0.66}\text{O}$ thin films [Electronic resource] / W. Yang, R. D. Vispute, S. Choopun, R. P. Sharma, and T. Venkatesan // Appl. Phys. Lett., 2001. – Vol.78. –

№2787. – Mode of access:WWW.URL:
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1368378>

37. Xiuhua Xie. Enhanced solar-blind responsivity of photodetectors based on cubic MgZnO films via gallium doping [Electronic resource] / Xiuhua Xie, Zhenzhong Zhang, Binghui Li, Shuangpeng Wang, Mingming Jiang, Chongxin Shan, Dongxu Zhao, Hongyu Chen, and Dezhen Shen // Optics express, 2014. - Vol.22. – P.246-253. – Mode of access:WWW.URL:
<https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-22-1-246&id=276399>

38. Y. N. Hou. Dual-band MgZnO ultraviolet photodetector integrated with Si [Electronic resource] / Y. N. Hou, Z. X. Mei, H. L. Liang, D. Q. Ye, C. Z. Gu, and X. L. Du // Appl. Phys. Lett., 2013. - Vol.102. - №153510. – Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4802486>

39. A.Gold. Transport properties of the electron gas in ZnO/MgZnO heterostructures [Electronic resource] // Appl. Phys. Lett., 2010. - Vol.96. - №242111. – Mode of access:WWW.URL:
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3455881>

40. D.C.Look. Recent advances in ZnO materials and devices [Electronic resource] // Mater. Sci. Eng., 2001. - Vol.80. -№1-3 – P.383-387. - Mode of access:WWW.URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921510700006048>

41. Ping Wang. Dark current suppression of MgZnO metal-semiconductor-metal solar-blind ultraviolet photodetector by asymmetric electrode structures [Electronic resource] / Ping Wang, Qinghong Zheng, Qing Tang, Yintang Yang, Lixin Guo, Feng Huang, Zhenjie Song, and Zhiyong Zhang // Optics Letters, 2014. - Vol.39. -№ 2 – P. 375-378. - Mode of access:WWW.URL:
<https://www.osapublishing.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-39-2-375>

42. Kewei Liu. ZnO-Based Ultraviolet Photodetectors [Electronic resource] / Kewei Liu, Makoto Sakurai and Masakazu Aono // Sensors 2010. - Vol.10.-№ 9 –

P. 8604-8634. - Mode of access:WWW.URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/10/9/8604>

43. Yaonan Hou. Semiconductor ultraviolet photodetectors based on ZnO and $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ [Electronic resource] / Yaonan Hou, Zengxia Mei and Xiaolong Du // Journal of Physics D: Applied Physics, 2014. - Vol.47.-№ 28 - Mode of access:WWW.URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/47/28/283001>

44. Jia-Lin Yang. Recent progress of ZnMgO ultraviolet photodetector [Electronic resource] / Jia-Lin Yang, Ke-Wei Liu and De-Zhen Shen // Chinese Physics B, 2017. - Vol.26.-№ 4 – Mode of access:WWW.URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-1056/26/4/047308>

45. Ming-sheng Xu. Recent advances in Ga-based solar-blind photodetectors [Electronic resource] / Ming-sheng Xu, Lei Ge, Ming-ming Han, Jing Huang, Huayong Xu and Zai-xing Yang // Chinese Physics B, 2019. - Vol.26.-№ 2. – P.415-417. – Mode of access:WWW.URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-1056/28/2/028502>

46. Rikiya Suzuki. Solar-blind photodiodes composed of a Au Schottky contact and a $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ single crystal with a high resistivity cap layer [Electronic resource] / Rikiya Suzuki, Shinji Nakagomi, and Yoshihiro Kokubun // Appl. Phys. Lett., 2011. - Vol.98.-№ 131114.– Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3574911>

47. Zhenguo Ji. Gallium oxide films for filter and solar-blind UV detector [Electronic resource] / Zhenguo Ji, Juan Du, Jia Fan, Wei Wang // Optical Materials, 2006. - Vol.28.-№ 4. – P.415-417. – Mode of access:WWW.URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925346705001709?via%3Dihub>

48. Subrina Rafique. Thermal annealing effect on $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ thin film solar blind photodetector heteroepitaxially grown on sapphire substrate [Electronic resource] / Subrina Rafique, Lu Han, Hongping Zhao // Phys. Status Solidi, 2017.

- Vol.214.-№ 1700063. –Mode of access:WWW.URL:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pssa.201700063>

49. Peigang Li. Construction of GaN/Ga₂O₃ p–n junction for an extremely high responsivity self-powered UV photodetector [Electronic resource] / Peigang Li, Haoze Shi, Kai Chen, Daoyou Guo, Wei Cui, Yusong Zhi, Shunli Wang, Zhenping Wu, Zhengwei Chen and Weihua Tang // J. of Mater. Chemistry C, 2017. - Vol.5. – P.10562-10570. – Mode of access:WWW.URL:
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/TC/C7TC03746E#!divAbstract>

50. Zhenping Wu. A self-powered deep-ultraviolet photodetector based on an epitaxial Ga₂O₃/Ga:ZnO heterojunction [Electronic resource] / Zhenping Wu, Lei Jiao, Xiaolong Wang, Daoyou Guo, Wenhao Li, Linghong Li, Feng Huang and Weihua Tang // J. of Mater. Chemistry C, 2017. - Vol.5. – P.8688-8693. – Mode of access:WWW.URL:

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/TC/C7TC01741C#!divAbstract>

51. Yuehua An. Deep ultraviolet photodetectors based on p-Si/i-SiC/n-Ga₂O₃ heterojunction by inserting thin SiC barrier layer [Electronic resource] / Yuehua An, Yusong Zhi, Zhenping Wu, Wei Cui, Xiaolong Zhao, Daoyou Guo, Peigang Li, Weihua Tang // Applied Physics A, 2016. - Vol.122. – №1036. – Mode of access:WWW.URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00339-016-0576-8>

52. Shinji Nakagomi. Deep ultraviolet photodiodes based on β-Ga₂O₃/SiC heterojunction [Electronic resource] / Shinji Nakagomi, Toshihiro Momo, Syuhei Takahashi, and Yoshihiro Kokubun // Appl. Phys. Lett., 2013. - Vol.103. – №072105. – Mode of access:WWW.URL:

<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4818620>

53. Jianping Zou. Ultraviolet Photodetectors Based on Anodic TiO₂ Nanotube Arrays [Electronic resource] / Jianping Zou, Qing Zhang, Kai Huang, and Nicola Marzari // J. Phys. Chem. C, 2010. - Vol.114. – №24.- P.10725-10729. – Mode of access:WWW.URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp1011236>

54. A.Hakim. Temperature effect on the electrical properties of undoped NiO thin films [Electronic resource] / A.Hakim, J.Hossain, K.A.Khan // Renewable Energy, 2009. - Vol.34. – №12. - P.2625-2629. – Mode of access:WWW.URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148109002353?via%3Dihub>

55. Attieh A.Al-Ghamdi. Structural, optical and photo-catalytic activity of nanocrystalline NiO thin films [Electronic resource] / Attieh A.Al-Ghamdi, M. Sh.Abdel-wahab, A.A.Farghali, P.M.Z.Hasana // Materials Research Bulletin, 2016. - Vol.75. – P.71-77. – Mode of access:WWW.URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025540815302208?via%3Dihub>

56. Anas A Ahmed. Structural, morphological, optical and electrical properties of NiO films prepared on Si (100) and glass substrates at different thicknesses [Electronic resource] / Anas A Ahmed, Naveed Afzal, Mutharasu Devarajan and Shanmugan Subramani // Materials Research Express, 2016. - Vol.3. –№11. – Mode of access:WWW.URL:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/3/11/116405>

57. J. M. Caruge. Colloidal quantum-dot light-emitting diodes with metal-oxide charge transport layers [Electronic resource] / J. M. Caruge, J. E. Halpert, V. Wood, V. Bulović & M. G. Bawendi // Nature Photonics , 2008. - Vol.2. – P.247-250. – Mode of access:WWW.URL:

<https://www.nature.com/articles/nphoton.2008.34>

58. Rainer Waser. Nanoionics-based resistive switching memories [Electronic resource] / Rainer Waser, Masakazu Aono // Nature Materials, 2007. - Vol.6. – P.833-840. – Mode of access:WWW.URL:

<https://www.nature.com/articles/nmat2023>

59. John Mallows. p-Type NiO Hybrid Visible Photodetector [Electronic resource] / John Mallows, Miquel Planells, Vishal Thakare, Reshma Bhosale,

Satishchandra Ogale, and Neil Robertson // ACS Appl. Mater. Interfaces, 2015. - Vol.7. - №50.- P.27597-27601. - Mode of access:WWW.URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.5b09291>

60. Namseok Park. High efficiency NiO/ZnO heterojunction UV photodiode by sol-gel processing [Electronic resource] / Namseok Park, Ke Sun, Zhelin Sun, Yi Jinga and Deli Wang // J. of Mater. Chemistry C, 2013. - Vol.1. - P.7333-7338. - Mode of access:WWW.URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/TC/c3tc31444h#!divAbstract>

61. Do Young Kim. Air-Stable, Solution-Processed Oxide p-n Heterojunction Ultraviolet Photodetector [Electronic resource] / Do Young Kim, Jiho Ryu, Jesse Manders, Jaewoong Lee, and Franky So // ACS Appl. Mater. Interfaces, 2014. - Vol.6. - №3.- P.1370-1374. - Mode of access:WWW.URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/am4050019>

62. Hyunki Kim. ITO nanowires-embedding transparent NiO/ZnO photodetector [Electronic resource] / Hyunki Kim, Melvin David Kumar, Malkeshkumar Patel, Joondong Kim // Materials Research Bulletin, 2016. - Vol.83. - P.35-40. - Mode of access:WWW.URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025540816302306?via%3Dihub>

63. Hailin Xue. TiO₂ based metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetectors [Electronic resource]/ Hailin Xue, Xiangzi Kong, Ziran Liu, Caixia Liu, Jingran Zhou, and Weiyu Chen// Appl. Phys. Lett., 2007. - Vol.90. - №20. - Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.2741128>

64. Xiangzi Kong. Metal-semiconductor-metal TiO₂ ultraviolet detectors with Ni electrodes [Electronic resource]/ Xiangzi Kong, Caixia Liu, Wei Dong, Xindong Zhang, Chen Tao, Liang Shen, Jingran Zhou, Yongfeng Fei, and Shengping Ruan// Appl. Phys. Lett., 2009. - Vol.94. - №12. - Mode of access:WWW.URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3103288>

65. W. S. Shih. Effect of Oxygen Plasma Treatment on Characteristics of TiO₂ Photodetectors [Electronic resource] / W. S. Shih; S. J. Young; L. W. Ji; W. Water; T. H. Meen; H. W. Shiu// IEEE Sensors Journal.,2011. – Vol.11. - №11. – P.3031-3035. – Mode of access:WWW.URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5762586/authors#authors>

66. Yanmin Zhao. MgNiO-based metal–semiconductor– metal ultraviolet photodetector [Electronic resource] / Yanmin Zhao, Jiying Zhang, Dayong Jiang, Chongxin Shan, Zhenzhong Zhang, Bin Yao, Dongxu Zhao and Dezhen Shen // Journal of Physics D: Applied Physics, 2009. - Vol.42. – №9.– Mode of access:WWW.URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/42/9/092007>

67. Anas A.Ahmed. Fabrication and characterization of high performance MSM UV photodetector based on NiO film [Electronic resource] / Anas A.Ahmed,Mutharasu Devarajan, Naveed Afzal // Sensors and Actuators A: Physical, 2017. - Vol.262. – P.78-86. – Mode of access:WWW.URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924424717303084?via%3Dihub>

68. Jeong-M.Choi. Ultraviolet enhanced Si-photodetector using p-NiO films [Electronic resource] / Jeong-M.Choi, Seongil Im // Applied Surface Science, 2005. - Vol.244. – №1-4. - P.435-438. – Mode of access:WWW.URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433204017325?via%3Dihub>

69. Dongyuan Zhang. NiO/Si heterostructures formed by UV oxidation of nickel deposited on Si substrates [Electronic resource] / Dongyuan Zhang, Shinji Nozaki, and Kazuo Uchida// J. of Vacuum Science & Technology B, 2014. - Vol.32. – №031202. – Mode of access:WWW.URL: <https://avs.scitation.org/doi/10.1116/1.4868634>

70. H. K. Li. Highly spectrum-selective ultraviolet photodetector based on p-NiO/n-IGZO thin film heterojunction structure [Electronic resource] / H. K. Li, T.

P. Chen, S. G. Hu, X. D. Li, Y. Liu, P. S. Lee, X. P. Wang, H. Y. Li, and G. Q. Lo // Optics Express, 2015. - Vol.23. – №21. - P.27683-27689. – Mode of access:WWW.URL: <https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-23-21-27683&id=331211>

71. Гуртов, В.А. Твердотельная электроника [Текст]: Учеб. пособие /В.А. Гуртов. - е изд., перераб. и доп. – с.492 - (Техносфера, 2008) [ISBN: 978-5-94836-187-1].

72. А.Н. Георгобиани, М. К. Шейкман. Физика соединений $A^{II}B^{IV}$ [Текст] / (Наука, 1986). – 320 с. - М.: Наука. Гл. ред. физмат, лит.

73. Г.П. Пека, В.Ф. Коваленко, А.Н. Смоляр. Варизонные полупроводники (Высш. шк., 1989).

74. A.G. Milnes, D.L. Feucht. Heterojunctions and Metal Semiconductor Junctions (Academic Press, 1972).

75. Ю.Н. Бобренко, С.Ю. Павелец, А.М. Павелец. [Электронный ресурс] Эффективные фотоэлектрические преобразователи ультра-фиолетового излучения с варизонными слоями на основе ZnS. Физика и техника полупроводников, 2009,. - том 43. - вып.6. – Режим доступа: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/6876>

76. Ю.Н. Бобренко, С.Ю. Павелец, А. Павелец, Н.В. Ярошенко. Фотоэлектрические преобразователи с варизонными слоями на основе ZnSe. Физика и техника полупроводников(2013). - т.47. - вып. 10. - стр. 1381-1384.

77. O.N. Tufle, E.L. Stelzer. Growth and properties of $Hg_{1-x}Cd_xTe$ epitaxial layers. J. Appl. Phys. 40, 4559 (1969).

78. S. Adachi. Properties of Group-IV, III–V and II–VI Semiconductors (John Wiley and Sons, 2005).

79. С.Ю. Павелец, Ю.Н. Бобренко, Т.В.Семикина, Б.С. Атдаев, Г. Шереметова, М.В. Ярошенко. [Электронный ресурс] Датчики ультрафиолета на основе твердых растворов $Zn_xCd_{1-x}S$ // Ukr.J.Phys., 2019 – vol.64, No.4, - pp.308 – 314. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15407/ujpe64.4.308>

80. KiCad EDA. A Cross Platform and Open Source Electronics Design Automation Suite. Mode of access:WWW.URL: <https://kicad.org/>

81. pcbdesigner.ru. / Методы изготовления печатных плат [Electronic resource] – Mode of access:WWW.URL: <https://pcbdesigner.ru/pcb/sposobi-izgotovleniya-pechatnih-plat/metody-izgotovleniya-pechatnyx-plat.html>

82. Microchip Studio for AVR[®] and SAM Devices. Mode of access:WWW.URL:

<https://www.microchip.com/mplab/microchip-studio>

83. Mike Banahan, Declan Brady, Mark Doran. The C Book. Addison Wesley, 1991. Mode of access:WWW.URL: https://publications.gbdirect.co.uk/c_book/

84. 16-Bit Analog-to-digital converter with Onboard Reference [Electronic resource]. – Texas Instruments, 2003. – Mode of access:WWW.URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1110.pdf?ts=1603612363109&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

85. MegaAVR Data Sheet [Electronic resource]. – Microchip Technology Inc, 2020. – Mode of access:WWW.URL: https://ru.mouser.com/datasheet/2/268/ATmega48A_PA_88A_PA_168A_PA_328_P_DS_DS40002061B-1900559.pdf

ABSTRACT

Actuality of theme. The study of the power of ultraviolet radiation (UV) is an urgent task because ultraviolet radiation is used to disinfect water, to create an atmosphere with a high degree of sterility during operation in chip shops, navigation systems for missiles to destroy aircraft, etc. [1-4]. It is especially important nowadays to measure UV radiation in the ozone layer. When measuring air and water pollution, UV measurements are also performed. UV sensors are finding new areas of application, which include optical communication on UV radiation, the study of the Sun and the atmosphere in the world range 300 - 400 nm, the study of the atmosphere of the planets and the ecosphere of Mars. The development of an ultraviolet nitrate sensor will create a map of ocean pollution, and an aerosol fluorescent sensor - to detect biological particles present in the air [5].

Connection of work with scientific programs, plans, topics. The work was performed within the research topic III-41-17 "Development of technology for the manufacture of new types of ultraviolet sensors based on surface-barrier structures degenerate semiconductor-semiconductor", which is performed at the Institute of Semiconductor Physics named after V. Lashkarev.

The purpose and objectives of research.

The aim of the work is to develop the basic design of the device for measuring UV radiation with the manufacture of a model of this device. The task of this master's dissertation is: acquaintance with physical phenomena (optical, acoustic) on the basis of which create devices for measuring UV, review of existing meters of ultraviolet radiation on the principle of operation; research of the technological process of manufacturing photodiodes on the basis of wide-band semiconductor materials; development of an ultraviolet radiation meter based on the one developed at the Institute of Semiconductor Physics. V. Lashkareva NASU photodiode based on cadmium selenide CdS.

The object of research - ultraviolet radiation and means of its measurement.

The subject of research - a device for measuring UV radiation.

Research methods: to obtain information about the technological modes according to which the process of manufacturing a UV-sensitive heterostructure is carried out, temperature control using thermocouples and pressure - vacuum vacuum gauges is used. Control of sensitivity to UV is performed by measuring the spectral characteristics of the device SF-8. Control of diode light characteristics is performed by measuring dark and light volt-ampere characteristics using a multimeter and power supply, as well as a light source - sunlight or a UV lamp.

Scientific novelty of the obtained results: For the first time a device for measuring UV using a photodiode based on heterostructures based on materials of group A2B6 was developed.

The practical significance of the obtained results. The device for measuring UV has various prospects for use: for measuring the dose of UV radiation in the treatment of cancerous tumors, water disinfection and processing of agricultural products during storage, in planetary research in cosmology, in the study of ocean pollution.

Personal contribution of the applicant. The master's thesis was performed completely independently.

Approbation of dissertation results. Speeches on the topic were made at scientific conferences: 1. At the XV International Conference "Control and Management in Complex Systems" (KUSS-2020), Vinnytsia, Ukraine, October 8-10, 2020, 2.

Arshan EV System of adaptive lighting control [Electronic resource] / Arshan EV Bondarenko RI, Kalachnikov OO, Yamnenko Yu.S. // X International scientific-practical Internet-conference "Modern challenges and current problems of science, education and production" November 13, 2020, Kyiv: conference proceedings. - 2020 - P. 554–563. - Access mode: <https://openscilab.org/wp->

content/uploads/2020/11/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_11_13_tezy.pdf

Publications:

“Ultraviolet Power Meter” Microsystems, Electronics and Acoustics., 2020. - Vol.25. - №2. - P.45-49. DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.199843>

Abstracts of the conference E. Arshan, R. Bondarenko, T. Semikina "Development of an electronic stand based on a microcontroller for debugging" Proceedings of the XV International Conference "Control and Management in Complex Systems" (KUSS-2020), Vinnytsia, Ukraine, October 8-10 2020, Abstracts, pp.57-58. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30559> <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/30559/10670-38056-1-RV.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

The structure and scope of the dissertation. The master's dissertation consists of an introduction, literature review, review of UV detector designs, development of a UV meter, startup section and conclusions. The work contains pages, tables, appendices and used literature sources.

The first section presents an overview of scientific and technical information on the topic of the master's dissertation, which describes the basic information about ultraviolet radiation, the classification of devices used to measure ultraviolet radiation, as well as the requirements for such devices.

The second section presents an overview of the design of UV meters, which are based on photodetectors made of different materials that differ in their properties and characteristics, which can be compared in the graphs and tables presented in this section.

The third and main section in this work is - "Development of a device for measuring UV based on CDS", which contains the development of a technical task for research and development of the device. Describes the detailed technology of the author to obtain a photodiode based on the surface-barrier structure of p-

Cu_{1.8}S / n-CdS with a photosensitive component based on cadmium sulfide CdS, obtained using existing technological equipment in Ukraine costs to obtain a photodiode with parameters that are not inferior to expensive foreign counterparts based on materials of group A3B5 and silicon carbide. The problems that were solved during the development of the photodiode based on CdS and show the original solutions found by the authors of the development. The primary transducer is a photodiode based on the surface-barrier structure of p-Cu_{1.8}S / n-CdS with a photosensitive component based on CdS cadmium sulfide. At a wavelength of $\lambda \sim 250$ nm, the sensitivity of p-Cu_{1.8}S / n-CdS sensors is twice that of GaP-based Schottky diodes. The value of the output current depends on the power of UV radiation and is in the range of 0.0001-0.2 mA. The advantage of the developed sensor is the simplicity and low cost of production technology, the ability to manufacture films that meet the characteristics of expensive foreign industrial UV photodiodes.

The next step in the development of the meter is the development of a block diagram, which includes: an ultraviolet sensor, an input signal amplifier, an analog-to-digital converter, a microcontroller and an indicator for displaying information. Based on the developed block diagram, the schematic diagram of the device was developed using the KiCad EDA software environment.

Having received the schematic diagram, the author develops a printed circuit board and assembles, using the technological process described in paragraph 3.6.

The final stage of device development is writing software using the C programming language using AtmelStudio7, which is provided with three files, each of which has its own purpose, namely: two files are libraries for working with a seven-segment indicator. Contains functions for outputting numbers to the indicator. The main file contains the code of the main program and performs the functions of configuring peripherals, reading and processing values from the ADC. The software listing is contained in Appendix A.

The following describes the ultraviolet sensor used in the device, namely FPD-1 based on CdS, which has the following characteristics:

- Semiconductor material: CdS;
- Photosensitive area: 25mm²;
- Spectral range: 200 ÷ 520nm;
- Maximum sensitivity position: 480nm;
- Photosensitivity in a maximum: 0,20A / W.

Table 3.5 on page 64 is presented, from which you can see various developed sensors based on other Lashkarev and their characteristics in comparison with foreign ones. The following describes the principle of operation of the device, the purpose of each component and their interaction with each other. The final point is to calculate the cost of the device, from which you can see how much the device costs and compare with foreign ones, to make certain conclusions about the relevance and need of this device in Ukraine.

The fourth section, namely "Development of a startup project" describes the idea of the project, about the weaknesses and strengths of your own startup project has market advantages among competitors, and you can identify the main ways to implement this startup project. This device has a technological implementation in today's market, there are available and available technologies for the production and implementation of the idea of this startup. Based on the factors of threats and opportunities, their detailed content, as well as a list of reactions and actions of the company to protect against these threats, we can conclude that investors will be interested in investing in this device. The given factors for the consumer, which are - price and quality, are substantiated why these factors are competitive and interesting to customers, which allows to develop an aggressive strategy of competitive behavior. The sales system is also given.

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

```

#define F_CPU 16000000UL

#include <util/twi.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <stdint.h>
#include "_7seg_display.h"
#include "i2cmaster.h"

//Для фільтрації випадкових завад використаємо метод медіанної
фільтрації

double middleFilt_3counts(double,double,double);
#define ADC_OFFSET_ERR 0.00115

#define ADDR 0b10010000

int16_t ADC_val = 0;
uint8_t adcH, adcL;
uint8_t ADC_control = 0;
uint8_t c = 0;
volatile double uv_intensity = 0;
volatile double adc_v = 0;

double middleFilt_3counts(double a,double b,double c){

```

```

double middle;
if ((a <= b) && (a <= c)) {
    middle = (b <= c) ? b : c;
} else {
    if ((b <= a) && (b <= c)) {
        middle = (a <= c) ? a : c;
    }
    else {
        middle = (a <= b) ? a : b;
    }
}
return middle;
}

int main(void)
{
    i2c_init();
    _7seg_Init();
    sei();
    _delay_ms(1500);
    //Ініціалізація ADS1110
    // 15bit 15SPS Vref = 2.048 GAIN = 1, Continius Mode

    i2c_start_wait(ADDR + I2C_WRITE);
    i2c_write(0b10001000);
    i2c_stop();

    int i = 0,j = 0;
    double buff[3];

```

```

while(1)
{
    i2c_start_wait(ADDR + I2C_READ);
    adcH = i2c_readAck();
    adcL = i2c_readAck();
    ADC_control = i2c_readNak();
    i2c_stop();
    if(!(ADC_control & (1 << 7))){
        ADC_val = ((uint16_t)adcH << 8) + adcL;
        buff[i++] = ((ADC_val/(double)16383)*2.048) +
ADC_OFFSET_ERR;
    }

    if(!(i<3)){
        i=0;
        j++;
        adc_v += middleFilt_3counts(buff[0],buff[1],buff[2]);

        if(!(j<5)){
            j = 0;
            uv_intensity = (adc_v/5.0)*8.33333;
            _7seg_setFloat(uv_intensity);
            adc_v = 0;
        }
    }
}
}

```

Файл _7seg_display.h

```

#ifndef _7SEG_DISPLAY_H_
#define _7SEG_DISPLAY_H_

#define COMMON_DDR DDRC
#define COMMON_PORT PORTC
#define COMMON_1 PORTC3
#define COMMON_2 PORTC2
#define COMMON_3 PORTC1
#define COMMON_4 PORTC0

#define SEG_DDRD DDRD
#define SEG_PORT PORTD

#define SEG_A 5
#define SEG_B 6
#define SEG_C 7
#define SEG_D 3
#define SEG_E 4
#define SEG_F 0
#define SEG_G 1
#define SEG_DOT 2

#define DOT_MASK (1 << SEG_DOT)

void _7seg_Init();
void _7seg_setFloat(double);
void _7seg_setInt(int);

```

```
#endif
```

```
Файл _7seg_display.c
```

```
#include <avr/io.h>
```

```
#include <stdint.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <avr/pgmspace.h>
```

```
#include <avr/interrupt.h>
```

```
#include "_7seg_display.h"
```

```
uint8_t dispNum[4] = {0,0,0,0};
```

```
char buff[10];
```

```
uint8_t counter = 0;
```

```
const uint8_t table[] PROGMEM = {
    /* 0 */(1 << SEG_A)|(1 << SEG_B)|(1 << SEG_C)|(1 << SEG_D)|(1
<< SEG_E)|(1 << SEG_F),
    /* 1 */ (1 << SEG_B)|(1 << SEG_C),
    /* 2 */(1 << SEG_A)|(1 << SEG_B)|(1 << SEG_D)|(1 << SEG_E)|(1
<< SEG_G),
    /* 3 */(1 << SEG_A)|(1 << SEG_B)|(1 << SEG_C)|(1 << SEG_D)|(1
<< SEG_G),
    /* 4 */(1 << SEG_B)|(1 << SEG_C)|(1 << SEG_F)|(1 << SEG_G),
    /* 5 */(1 << SEG_A)|(1 << SEG_C)|(1 << SEG_D)|(1 << SEG_F)|(1
<< SEG_G),
    /* 6 */(1 << SEG_A)|(1 << SEG_C)|(1 << SEG_D)|(1 << SEG_E)|(1
<< SEG_F)|(1 << SEG_G),
    /* 7 */ (1 << SEG_A)|(1 << SEG_B)|(1 << SEG_C),
```

```

        /* 8 */ (1 << SEG_A)|(1 << SEG_B)|(1 << SEG_C)|(1 << SEG_D)|(1
<< SEG_E)|(1 << SEG_F)|(1 << SEG_G),
        /* 9 */(1 << SEG_A)|(1 << SEG_B)|(1 << SEG_C)|(1 << SEG_D)|(1
<< SEG_F)|(1 << SEG_G)
    };

```

```

    const      uint8_t      commons[]      PROGMEM      =
{COMMON_1,COMMON_2,COMMON_3,COMMON_4};

```

```

void _7seg_Init(){

```

```

    SEG_DDRD = (1 << SEG_A)|(1 << SEG_B)|(1 << SEG_C)|(1 <<
SEG_D)|(1 << SEG_E)|(1 << SEG_F)|(1 << SEG_G)|(1 << SEG_DOT);

```

```

    COMMON_DDR = (1 << COMMON_1)|(1 << COMMON_2)|(1 <<
COMMON_3)|(1 << COMMON_4);

```

```

    COMMON_PORT = (1 << COMMON_1)|(1 << COMMON_2)|(1 <<
COMMON_3)|(1 << COMMON_4);

```

```

    // Timer/Counter 0 initialization

```

```

    // Clock source: System Clock

```

```

    // Clock value: 62,500 kHz

```

```

    // Mode: Normal top=0xFF

```

```

    // OC0A output: Disconnected

```

```

    // OC0B output: Disconnected

```

```

    // Timer Period: 4,096 ms

```

```

    TCCR0A=(0<<COM0A1) | (0<<COM0A0) | (0<<COM0B1) |
(0<<COM0B0) | (0<<WGM01) | (0<<WGM00);

```

```

    TCCR0B=(0<<WGM02) | (1<<CS02) | (0<<CS01) | (0<<CS00);

```

```

    TCNT0=0x00;

```



```

OCR0A=0x00;
OCR0B=0x00;
// Timer/Counter 0 Interrupt(s) initialization
TIMSK0=(0<<OCIE0B) | (0<<OCIE0A) | (1<<TOIE0);

```

```

dispNum[3] = (1 << SEG_G);
dispNum[2] = (1 << SEG_G);
dispNum[1] = (1 << SEG_G);
dispNum[0] = (1 << SEG_G);

```

```

}

```

```

void _7seg_setFloat(double num){
    uint8_t i , j;
    char c , c_next;

    sprintf(buff, "%+4.5f", num);

    if (num < 0)
    {
        dispNum[0] = (1 << SEG_G);
        dispNum[1] = pgm_read_byte(&table[0]);
        dispNum[2] = pgm_read_byte(&table[0]);
        dispNum[3] = pgm_read_byte(&table[0]);
        return;
    }

    for (j = 0, i = 1; j < 4; i++ , j++ )
    {
        c = buff[i];

```

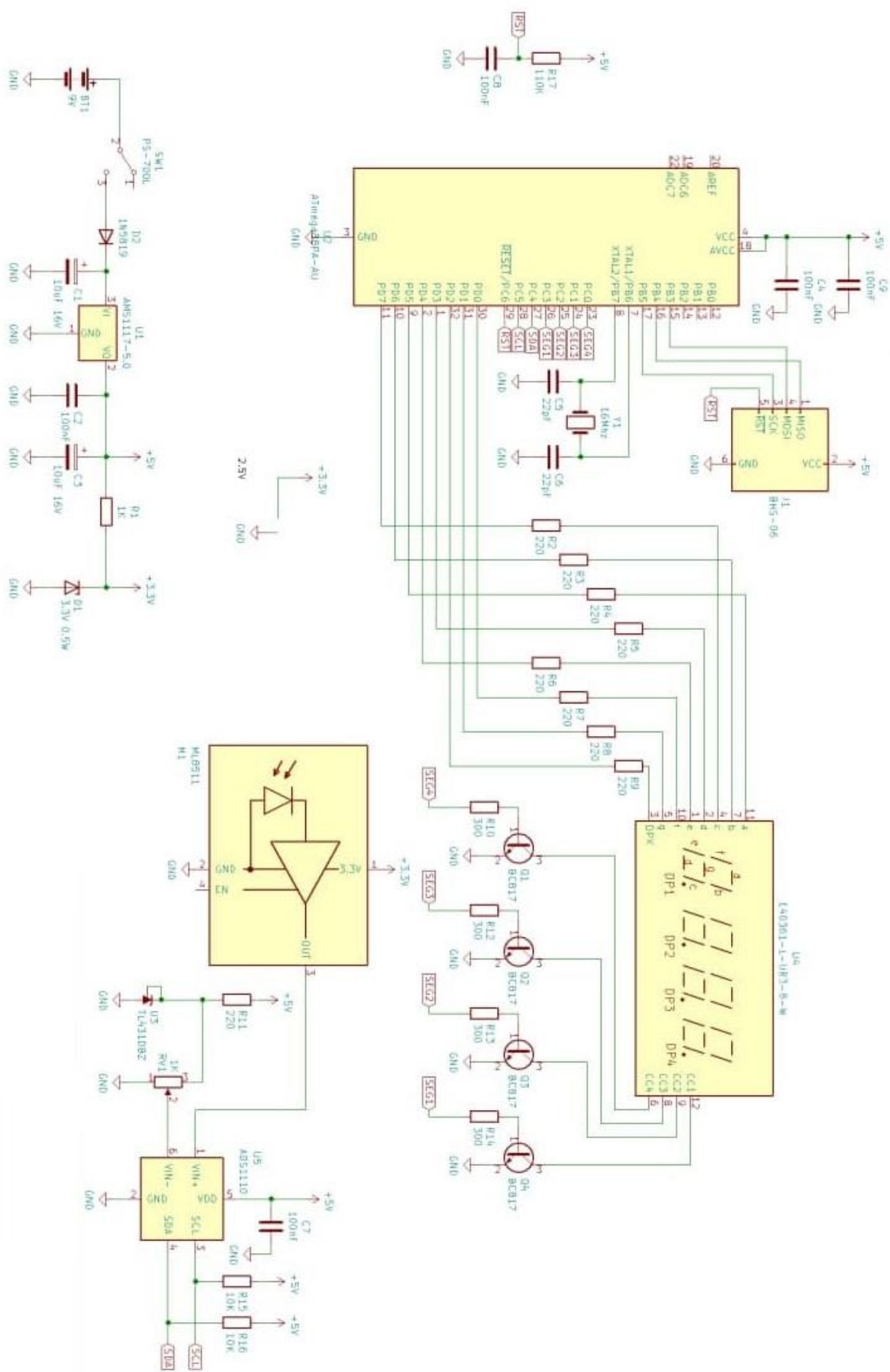
```

        c_next = buff[i+1];
        dispNum[j] = pgm_read_byte(&(table[c - 48]));
        if (c_next == '.'){
            dispNum[j] |= DOT_MASK;
            i++;
        }
    }
    return;
}

ISR (TIMER0_OVF_vect){
    COMMON_PORT    &=    ~((1    <<    COMMON_1)|(1    <<
COMMON_2)|(1 << COMMON_3)|(1 << COMMON_4));
    COMMON_PORT |= (1 << pgm_read_byte(&(commons[counter])));
    SEG_PORT = dispNum[counter++];
    if (counter > 3)
        counter = 0;
}

```

ДОДАТОК Б
СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання

Аршан¹ С. В., ORCID [0000-0001-9315-2801](https://orcid.org/0000-0001-9315-2801)

Бондаренко² Р. І., ORCID [0000-0002-5529-0186](https://orcid.org/0000-0002-5529-0186)

Калачников³ О. О., ORCID [0000-0002-9387-7834](https://orcid.org/0000-0002-9387-7834)

Семікіна⁴ Т. В., к.т.н. с.н.с., ORCID [0000-0002-6182-4703](https://orcid.org/0000-0002-6182-4703)

Кафедра електронних пристроїв та систем eds.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ROR [0000-0001-9315-2801](https://orcid.org/0000-0001-9315-2801)

Київ, Україна

Сіднев О. Б., с.н.с., ORCID [0000-0001-6367-1846](https://orcid.org/0000-0001-6367-1846)

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашинського НАНУ isp.kiev.ua

Київ, Україна

Аномалія.—В роботі представлено етапи розробки пристрою для виміру потужності ультрафіолетового (УФ) випромінювання. В якості первинного перетворювача пропонується розроблений авторами фотодіод на основі поверхнево-бар'єрної структури р-Si₃N₄-CdS з фоточутливою складовою на основі сульфід кадмію CdS. Наведено етапи розробки схеми підсилювача для обраного фотодіоду. В якості аналога розглядалась схема підсилювача UV Sensor V2 на основі GUVA-S12SD. Представлено оригінальну схему підсилювача, яка має наступні переваги: одновольове живлення; мінша різниця потенціалів між входом і виходом у порівнянні з аналогом; змінний коефіцієнт підсилення. Виконано розрахунок номіналів компонентів схеми. Для обробки сигналу з підсилювача обрано аналогово-цифровий перетворювач АЦП К1108ВВ1А та наведено його технічні характеристики. Запропонована блок-схема пристрою: фотодіод, підсилювач вхідного сигналу, АЦП, мікроконтролер.

Ключові слова — ультрафіолетове випромінювання; кадмій сульфід; фотодіод; підсилювач.

1. ВСТУП

Дослідження потужності ультрафіолетового випромінювання (УФ) є актуальною задачею оскільки ультрафіолетове випромінювання використовується для дезінфекції води, для створення атмосфери з високим ступенем стерильності при експлуатації в апаратах по виготовленню мікросхем, в системах навігації ракет для знищення літаків, тощо [1]–[4]. Особливо важливе в наш час вимірювати УФ випромінювання в озоновому шарі. При контролі забруднення повітря та води також проводиться вимір УФ. Датчики УФ знаходять нові галузі застосування, до яких відносяться оптична комунікація на УФ випромінюванні, вимірювання Сонця та атмосфери в світовому діапазоні 300–400 нм, вимірювання атмосфери планет та екзосфери Марса. Розробка ультрафіолетового піратного сенсору дозволить створити малу забруднення океанів, а аерозольного флуоресцентного сенсору — виявити біологічні частки, присутні в повітрі [5].

Завданням даної роботи є проектування пристрою для реєстрації та виміру потужності ультрафіолетового випромінювання.

В першу чергу для реєстрації УФ випромінювання необхідно мати датчик УФ - первинний чутливий

елемент. В якості датчиків УФ найчастіше використовують фотодіоди на основі широкозонних напівпровідникових матеріалів та кремнію [3]–[11]. Останнім часом значна кількість публікацій присвячена датчикам УФ на основі оксиду цинку [5]. Для збільшення фоточутливої поверхні і, як наслідок покращення характеристик УФ сенсора, оксид цинку випрошують у вигляді наночасток, нанодріотів та наностержнів [5]. Для прикладного застосування УФ сенсорів необхідно розробити пристрій – вимірювач потужності чи дози УФ радіації. Загальний аналіз існуючих вимірювачів УФ випромінювання наведено в роботах [1], [2], [10]–[12]. В роботі [12] відзначено, що практично всі пристрої для вимірювання УФ- випромінювання виконують функції радіометра та дозиметра, оскільки величина експозиційної дози розраховується через величину енергетичної освітленості. Загальним недоліком всіх існуючих приладів є вузький діапазон виміру дози та високі значення основної відносної похибки вимірів [12]. Тому задача розробки пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання є актуальною.

Існують різні підходи при конструюванні вимірювачів УФ. Один з підходів базується на застосуванні поверхневих акустичних хвиль, а саме розроблено



пасивний бездротовий датчик УФ випромінювання на поверхневих акустичних хвилях. Принцип дії таких датчиків заснований на зміні загасання і швидкості поверхневих акустичних хвиль від інтенсивності УФ випромінювання завдяки поглинанню УФ напівпровідником, котрий розміщено на п'єзоелектричній підкладинці. Різні модифікації таких дозиметрів описано в роботах [13]–[17]. Існують дозиметри УФ на основі оптичних волокон [18], з застосуванням фотохромних та люмінесцентних матеріалів [19]. Ми вважаємо, що одним із простих та зручних варіантів є виготовлення вимірювача потужності УФ на базі напівпровідникового фотодіода.

В якості аналога нами було обрано дозиметр спектральної освітленості ультрафіолетового діапазону «Тензор» [12]. В приладі «Тензор» в якості первинного чутливого до УФ випромінювання перетворювача застосовується фотодіод на основі фосфіду галію GaP. Однак, в Україні немає технологічного обладнання для виготовлення матеріалів групи A_3B_5 , до яких відноситься і GaP. Ціна промислово виготовлених датчиків УФ на базі широкозонних напівпровідників таких як, SiC, GaP, GaN, InP становить від 80 до 120 у.о., а на базі кремнію порядку 12 – 20 у.о. [20]–[23]. Висока ціна обумовлена необхідністю мати робочу поверхню в 3–8 разів більшу, ніж для значущих фотодіодів. Однак кремній є чутливим не тільки в УФ діапазоні. Максимум його чутливості лежить в ближньому інфрачервоному діапазоні сонячного спектра, що вимагає додаткового використання дорогих світлофільтрів. Тому актуальним завданням є розробка пристрою, де використовується фотодіод розроблений в Україні із застосуванням простої та дешевої технології виготовлення. У представленій роботі розробка пристрою для вимірювання УФ базується на використанні сенсора на основі CdS, чутливого до УФ області спектру [5]–[9], розробленого в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ (м. Київ, Україна).

Аналіз літературних джерел, де описуються результати розробок дозиметрів УФ на основі фотодіодів, показує що існує загальний підхід до конструювання таких дозиметрів, але автори не наводять схемні рішення, номінали електронних компонент, які будуть змінюватися при використанні різних фотодіодів. Таким чином в представленій роботі було поставлене завдання розробити електронну частину вимірювача (аторинний перетворювач) при використанні первинного перетворювача – напівпровідникового фотодіода на основі плівки CdS. Наведено етапи розробки вимірювача УФ, а також оригінальні схемні рішення для виготовлення підсилювача в складі вимірювача.

II. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТЧИКІВ УФ НА ОСНОВІ СУЛЬФІДУ КАДМІЮ

Широкозонні сполуки A_3B_5 виготовляють для застосування в УФ сенсорах значний час і роботи в цьому напрямку продовжуються і надалі [5]–[9]. Це пов'язано з тим, що прямозонність сполук A_3B_5 дає можливість використовувати фотоактивні шари мікронної товщини, а тонкоплівкове виконання сенсора

спрощує реалізацію планарної технології виготовлення приладів. На основі поверхнево-бар'єрної структури $p\text{-Cu}_{1-x}\text{S}/n\text{-CdS}$ з фоточутливою складовою на основі сульфід кадмію CdS (з ширинною забороненої зони $E_g=2.42$ eV) отримані одні з найбільш чутливих сенсорів УФ випромінювання [5]–[9]. Пошарова структура фотодіода (сенсора) представлена на Рис. 1. Фоточутлива до УФ гетероструктура $p\text{-Cu}_{1-x}\text{S}/n\text{-CdS}$ була нанесена вакуумним методом термічного випаровування на ситалову підкладинку металізовану молибденом.

Виготовлення сенсорів на основі полікристалічних шарів пов'язано з проблемою вибору типу сепаруючого бар'єру. Як показав багаторічний світовий досвід, оптимальною є поверхнево-бар'єрна структура. Використання класичних $p\text{-}n$ -переходів і гетеропереходів стикається з проблемою отримання широкозонних шарів A_3B_5 з достатньо високою провідністю для шару p -типу та відсутністю ізоперіодичних гетеропар.

В попередніх дослідженнях [5]–[9] була показана доцільність використання для сенсорів короткохвилинного випромінювання на основі A_3B_5 нового типу поверхнево-бар'єрних структур з прозорою складовою нанометрової товщини виродженого напівпровідника Cu_{1-x}S p -типу провідності. Тонка плівка сульфід міді не тільки збільшує пропускання світла у фоточутливу складову сенсора – шар CdS, а саме при товщині 30 – 40 нм спостерігається ефективний вклад гарячих електронів, які емітують з Cu_{1-x}S в CdS. На такій товщині всі генеровані світлом з довжиною хвилі 200–350 нм електрони у шарі напівпровідника Cu_{1-x}S зберігають надлишкову енергію, необхідну для подолання рекомбінаційного бар'єру на межі поділу гетероконтакту. Внесок таких носіїв у загальний струм в низькій області спектру складає майже 50 %. До речі, цим пояснюється той факт, що на довжінні хвилі $\lambda \sim 250$ нм чутливість у сенсорів $\text{Cu}_{1-x}\text{S}/\text{CdS}$ у два рази вища, ніж діодів Шоткі на основі GaP. Детальна інформація стосовно технології та характеристик розроблених сенсорів представлена в роботах [5]–[9].

Таким чином, розроблені сенсорні мають наступні переваги:

- Швидке перемикання, оскільки застосування виродженого напівпровідника дозволяє характеризувати сенсор як діод Шоткі.
- Тонкоплівкове виконання фотодіодів спрощує реалізацію планарної матеріало- і енергозберігаючої технології виготовлення приладів, що дозволяє суттєво знизити собівартість виробництва.

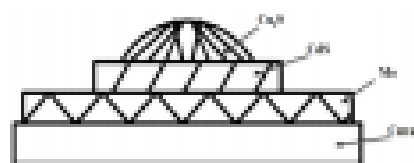


Рис. 1 Пошарова структура сенсора на основі $p\text{-Cu}_{1-x}\text{S}/n\text{-CdS}$



- За допомогою розробленої технології проблема створення сенсорів великої площі вирішується простіше.

При застосуванні фотодіода в конструкції вимірювача, УФ випромінювання подає на фотодіод, вхідний струм якого змінюється. Величина вхідного струму залежить від потужності УФ випромінювання та знаходиться в межах 0.0001-0.2 мА, тому після фотодіода необхідно ставити підсилювач.

III. РОЗРОБКА СХЕМИ ПІДСИЛЮВАЧА ДЛЯ ДОЗИМЕТРА УФ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Для розробки схеми підсилювача в якості аналога нами було проаналізовано схему підсилювача UV Sensor V2 на основі GUVA-S12SD (Рис. 2) [24]. Перевагою схеми з фотоприймачем GUVA-S12SD та операційним підсилювачем SGM8521 (Рис. 2) є однополюсне живлення, а недоліком є постійний коефіцієнт підсилення, що обмежує динамічний діапазон виміру напруг, оскільки інтенсивність УФ випромінювання може змінюватись на кілька порядків.

Для покращення роботи підсилювача у порівнянні з аналогом, нами була розроблена схема (Рис. 3), яка має наступні переваги: однополюсне живлення; змінний коефіцієнт підсилення. Для отримання вимірювань потужності ультрафіолету зі схеми знімається напруга, оскільки ми використовуємо фотодіод (на схемі позначений як UVD), який має струмовий вихід. Тому необхідно використати підсилювач на основі перетворювача „струм-напруга“. Схема перетворювача „струм-напруга“ в своєму складі має: операційний підсилювач (ОП), резистор R4 та резистор R2 з неінвертуючого (+) входу ОП на землю.

Схема працює робочою і без резистора R2, тоді неінвертуючий вхід ОП подається на землю. Проте маючи резистор 2.5 кОм в колі зворотного зв'язку, на кожен 1 мА вхідного струму на виході буде створений 1 В напруги. При такому коефіцієнті підсилення резистор потрібен із-за неідеальності операційного підсилювача.

Діод відіграє роль генератора струму, режим генерації струму підтримується краще, коли різниця потенціалів між входом і виходом менша.

Конденсатор C1 виконує функцію роз'являючого конденсатора, який шунтує імпульси та перешкоди, що розповсюджуються по лінійках живлення та працює як фільтр, який потрібен для зменшення шумів на виході схеми. Номінал конденсатора розраховується за формулою:

$$C_1 = \frac{\tau}{R} \quad (1)$$

де, τ -час встановлення напруги на виході, значення часу було обрано як 0.1 с. Таким чином, розраховане значення для C1 дорівнює 1 мкФ при номіналі R1=10 кОм. Резистор R1 потрібен за технічними вимогами до операційного підсилювача. В розробленій схемі використовується найпростіший резистивний дільник напруги, який містить два послідовно

включених резистора, котрі підключено до джерела напруги. Оскільки резистори з'єднані послідовно, то струм через них буде однаковий, відповідно до першого правила Кірхгофа. За допомогою резистивного дільника напруги в колі зворотного зв'язку задається коефіцієнт посилення каскаду на ОП. Живлення операційного підсилювача $\pm 5V$, тому потрібні резистори R2 та R3 як дільники напруги, які матимуть номінали 2.5 кОм. Передбачено підключення декількох резисторів R4, R5, R6 для зміни коефіцієнту підсилення. Для зменшення високочастотних шумів паралельно резисторам підключено плівкові конденсатори C2, C3 та C4 невеликої ємності. Плівкові конденсатори обрано тому, що вони мають перевагу над значайним електролітичними конденсатором, оскільки є більш швидкодіючими.

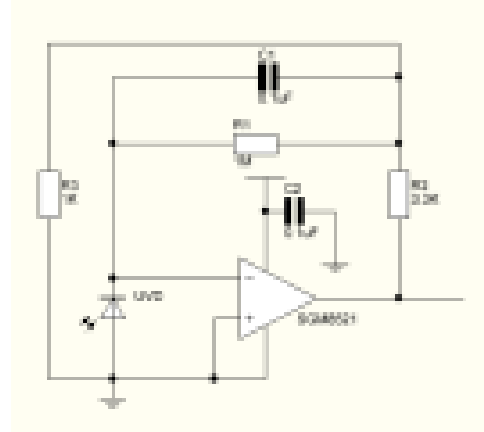


Рис. 2 Схема підсилювача на основі GUVA-S12SD

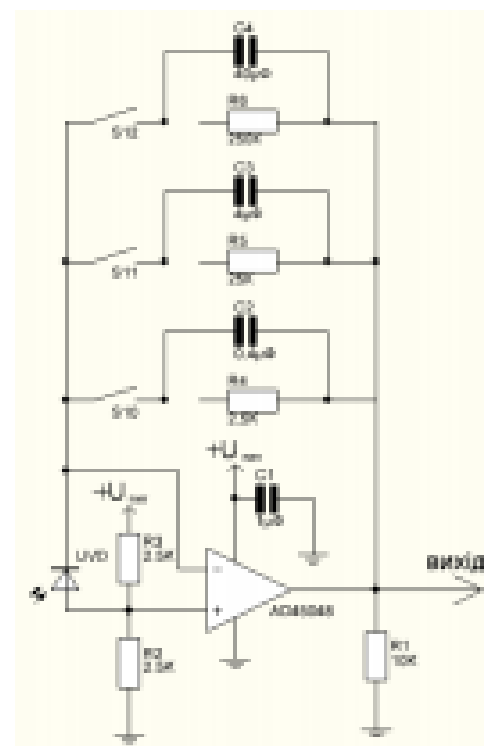


Рис. 3 Розроблена схема підсилювача



Рис. 4 Структурна блок-схема вимірювача потужності УФ випромінювання

Резистори R4, R5, R6 розраховуються за законом Ома. Було отримано наступні номінали: 2,5 кОм, 25 кОм та 250 кОм. Конденсатори C2, C3 та C4, підключені паралельно до резисторів R4, R5, R6, розраховувались за формулою (1). Отримано наступні значення для конденсаторів: 40 нФ, 4 мкФ та 0,4 мкФ відповідно. Виготовлення плати підсилювача було зроблено за допомогою програми Sprint та Sprint-Layout [25].

IV. АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

Для обробки сигналу з підсилювача необхідно мати аналого-цифровий перетворювач та мікропроцесор чи мікроконтролер.

Для вибору АЦП було проведено аналіз найбільш розповсюджених АЦП, та обрано К1108ПВ1А, який має наступні характеристики [26]:

- функціонально – повний АЦП;
- кількість розрядів – 10;
- час перетворення (макс.) 0,75 мкс;
- відсутність пропусків кодів;
- цифрове мультиплексування: три стабільні виходи;
- два джерела живлення: $U_{CC1} = +5\text{В} \pm 5\%$ та $U_{CC2} = -5,2\text{В} \pm 5\%$

АЦП К1108ПВ1А [27] є 10-розрядним АЦП послідовного наближення, що сполучається з мікропроцесором. Для експлуатації АЦП необхідні тільки два джерела живлення і регулювальні резистори. АЦП забезпечує перетворення вхідного однополярного або біполярного аналогового сигналу в вихідний паралельний двійковий код і призначений для застосування в електронній апаратурі широкого застосування (в даному випадку пристрій для вимірювання УФ).

Вихідні каскади з трьома ступенями дозволяють виводити результат перетворення безпосередньо на шину даних мікропроцесора і за рівняння вхідних і вихідних логічних сигналів сполучаються з цифровими ТТЛ-схемами.

Таким чином блок-схема вимірювача потужності УФ буде мати наступні блоки: фотодіод, підсилювач вхідного сигналу, аналогово-цифровий перетворювач, мікроконтролер (Рис. 4).

Останнім блоком в пристрій буде виготовлено електронний стенд на основі мікроконтролера для налагодження програм із застосуванням ATmega16A. Електронний стенд знаходиться на стадії розробки.

ВИСНОВКИ

Вимірювач потужності УФ випромінювання запропоновано конструювати з використанням УФ фотодіода, який виконує функцію первинного перетворювача. В якості фотодіода обрано діод Шоткі на основі полікристалічних напівпровідникових плівок $\text{Cu}_{1-x}\text{S}/\text{CdS}$, де сульфід кадмію є абсорбуючим ультрафіолет шаром. Для підсилення сигналу з фотодіода розроблена та розрахована схема підсилювача. В якості АЦП обрано АЦП К1108ПВ1А. Останній етап по угодженню роботи АЦП та мікроконтролера знаходиться на стадії виконання. Отримані схемні рішення для конструювання вимірювача УФ на основі $\text{Cu}_{1-x}\text{S}/\text{CdS}$ фотодіода можуть бути використані для швидкого створення промислового приладу, який буде складовою частиною комплексів по знешкодженню повітря в метро та інших приміщеннях від вірусних інфекцій, в тому числі SARS-CoV-19.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] P. O. of the E. Union, *Advances in solar ultraviolet spectrometry*. Publications Office of the European Union, 1997, ISBN: 92-828-0990-0.
- [2] V. D. Ryzhikov et al., "A Portable Meter of the Ultraviolet Radiation in Biologically Active Ranges of Solar Radiation Based on the ZnSe Semiconductor," *Telecommun. Radio Eng.*, vol. 55, no. 5, p. 9, 2001, DOI: [10.1615/TelecommunRadioEng.v55.i5.130](https://doi.org/10.1615/TelecommunRadioEng.v55.i5.130).
- [3] T. V. Blank and Y. A. Gol'dberg, "Semiconductor photoelectric converters for the ultraviolet region of the spectrum," *Semiconductors*, vol. 37, no. 9, pp. 999–1010, Sep. 2003, DOI: [10.1134/1.1610111](https://doi.org/10.1134/1.1610111).
- [4] R. Anasua, A. Berkeliev, and E. Al., "UV-фотоприемник на основе p-верхностно-бар'ерной структуры Ga1-xAlxP ($x = 0,5 \div 0,1$) [UV photodetector based on the Ga1-xAlxP surface-barrier structure ($x = 0,5 \div 0,1$)]," *FTP*, vol. 15, no. 6, pp. 1122–1125, 1981.
- [5] S. Y. Pavletskiy, Y. N. Boburko, T. V. Semikina, B. S. Aidaev, G. I. Shermetova, and M. V. Yaroshenko, "Ultraviolet Sensors Based on ZnCd1-xS Solid Solutions," *Ukr. J. Phys.*, vol. 64, no. 4, p. 308, May 2019, DOI: [10.15807/ujp64.4.308](https://doi.org/10.15807/ujp64.4.308).
- [6] S. Y. Pavletskiy, Y. N. Boburko, T. V. Semikina, G. I. Shermetova, and M. V. Yaroshenko, "Photovoltaic converters of ultraviolet radiation with graded-gap layers based on CdZn1-xS solid solutions," *Optoelectron. Semicond. Technol.*, vol. 49, pp. 69–73, 2014, URL: http://opt.kiev.ua/images/Files/Images/Scn-ndolinet/vol49/090409_69.pdf.
- [7] Y. Boburko, "Thin-film solar converters based on the p-Cu1.8S/n-CdTe surface-barrier structure," *Semicond. physics, quantum Electron. Optoelectron.*, vol. 18, no. 1, pp. 101–105, Mar. 2015, DOI: [10.15407/ujp64.1.101](https://doi.org/10.15407/ujp64.1.101).
- [8] Y. N. Boburko, S. Y. Pavletskiy, A. M. Pavletskiy, T. V. Semikina, and N. V. Yaroshenko, "Surface-barrier photoc converters with graded-gap layers in the space-charge region," *Semiconductors*, vol. 49, no. 4, pp. 519–523, Apr. 2015, DOI: [10.1134/S1063787615040800](https://doi.org/10.1134/S1063787615040800).
- [9] S. Y. Pavletskiy, "Effective polycrystalline sensor of ultraviolet radiation," *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.*

- vol. 20, no. 5, pp. 335–339, Oct. 2017, DOI: [10.15407/spqs.20.05.335](https://doi.org/10.15407/spqs.20.05.335).
- [10] V. Dorogan, T. Viera, M. Marcolle, R. Savastu, and T. Zia, "Ultraviolet radiation sensors on the basis of semiconductors," 2001, p. 858, DOI: [10.1117/32.432818](https://doi.org/10.1117/32.432818).
- [11] V. D. Ryzhikov et al., "Professional and household dosimetry for UV biologically active ranges of solar radiation on the basis of ZnSe semiconductor-metal nanostructures," 2010, p. 77151Q, DOI: [10.1117/1.2853665](https://doi.org/10.1117/1.2853665).
- [12] V. K. Butenko, Y. G. Dobrovolsky, B. G. Shubashkevich, and V. G. Yunes, "Dosimeters for energy illumination of ultraviolet radiation of the Tenzor type," *Technol. Des. Electron. Equip.*, no. 5, pp. 43–45, 2006.
- [13] W. Peng, Y. He, C. Wen, and K. Ma, "Surface acoustic wave ultraviolet detector based on zinc oxide nanowire sensing layer," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 184, pp. 34–40, Sep. 2012, DOI: [10.1016/j.sae.2012.06.012](https://doi.org/10.1016/j.sae.2012.06.012).
- [14] V. Chivukula, D. Ciplis, M. Shur, and P. Dutta, "ZnO nanoparticle surface acoustic wave UV sensor," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 96, no. 23, p. 253512, Jun. 2010, DOI: [10.1063/1.3447852](https://doi.org/10.1063/1.3447852).
- [15] W.-C. Tsai, H. Kao, K.-H. Liao, Y.-H. Liu, T.-P. Lin, and E. S. Jeng, "Room temperature fabrication of ZnO/ST-cut quartz SAW UV photodetector with small temperature coefficient," *Opt. Express*, vol. 23, no. 5, p. 2187, Feb. 2015, DOI: [10.1364/OE.23.002187](https://doi.org/10.1364/OE.23.002187).
- [16] S. Kumar, G.-H. Kim, K. Sreenivas, and R. P. Tandon, "ZnO based surface acoustic wave ultraviolet photo sensor," *J. Electroceramics*, vol. 22, no. 1–3, pp. 198–202, Feb. 2009, DOI: [10.1007/s10832-007-9409-7](https://doi.org/10.1007/s10832-007-9409-7).
- [17] W. Wen-Ho et al., "Transparent ZnO/glass surface acoustic wave based high performance ultraviolet light sensors," *Chinese Phys. B*, vol. 24, no. 5, p. 057701, 2015, URL: http://cpb.cphy.ac.cn/article/2015/cpb_24_5_057701.html.
- [18] A. I. Sidorov, *Sensory photonics*. Textbook. St. Petersburg: University, ITMO, 2019.
- [19] V. D. Dubrovina, A. I. Ignatiev, N. V. Nikonorov, A. I. Sidorov, T. A. Shakhverdov, and D. S. Agafonova, "Luminescence of silver molecular clusters in photo-thermo-refractive glasses," *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 36, no. 4, pp. 753–759, Feb. 2014, DOI: [10.1016/j.optmat.2013.11.018](https://doi.org/10.1016/j.optmat.2013.11.018).
- [20] "1pcs UV Photodiode 220 to 370nm Ultraviolet Metal Shell Photodiode: Amazon.com: Industrial & Scientific." [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Photodiode-220nm-Ultraviolet-Metal-Shell/dp/B07VY13PFX>.
- [21] "SiC UV Photodiodes | agkx." [Online]. Available: <https://agkx.de/en/product-category/sic-uv-photodiodes/>.
- [22] "Gems." [Online]. Available: <http://www.gem-in.com/>.
- [23] "Ultraviolet/Extreme Ultraviolet (UV/EUV) Photodiodes: SXUV 100." [Online]. Available: <http://www.photonicsonline.com/doc/ultravioletextreme-ultraviolet-sxuv-0001>.
- [24] "Analog UV Sensor V2." [Online]. Available: <https://www.ti.com/creatives/analog-uv-sensor-v2.aspx>.
- [25] "Sprint-Layout." [Online]. Available: https://www.netsoftware/sprint_layout.php.
- [26] "AD45048." [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/AD45048.pdf>.
- [27] "1108pvl." [Online]. Available: <https://made.re/odf/mfowokhona/1108pvl.pdf>.

Надійшло до редакції 31 березня 2020 р.

Device for Measurements of Ultraviolet's Power Radiation

Ie. V. Arshan[†], ORCID [0000-0001-9315-2801](https://orcid.org/0000-0001-9315-2801)

R. I. Bondarenko[†], ORCID [0000-0002-5529-0186](https://orcid.org/0000-0002-5529-0186)

O. O. Kalachnykov[†], ORCID [0000-0002-9387-7834](https://orcid.org/0000-0002-9387-7834)

T. V. Semikina[‡], PhD Senior Researcher, ORCID [0000-0002-6182-4703](https://orcid.org/0000-0002-6182-4703)

Department of Electronic Devices and Systems eds@kpi.ua

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", ROR [00syu5v21](https://ror.org/00syu5v21)

Kyiv, Ukraine

O. B. Sidniev, Senior Researcher, ORCID [0000-0001-6367-1846](https://orcid.org/0000-0001-6367-1846)

V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NASU isp.kiev.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract—The paper presents a technique for developing a device for measurements of power of ultraviolet (UV) radiation. The paper provides a brief analysis of existing approaches in the design of UV dosimeters. The rationale for the design of the dosimeter using an UV photodiode is given. The choice of a photodiode based on cadmium sulfide is made on the basis of the technological equipment existing in Ukraine, the level of development of technological modes that allow, at low technology costs, to obtain photodiodes with parameters not inferior to expensive foreign analogues based on materials of the A³B⁵ group and silicon carbide. The problems that were solved when developing a photodiode based on CdS and the original solutions found by the authors of the development are shown. The primary transducer is a photodiode based on the surface-barrier structure of p-Cu₂S/n-CdS with a photosensitive component based on cadmium sulfide CdS. At a wavelength of $\lambda \sim 250$ nm, the sensitivity of p-Cu₂S/n-CdS sensors is two times higher than GaP-based Schottky diodes. The value of the output current depends on the power of the UV radiation and lies within 0.0001–0.2 mA. The advantages of the developed sensor are the simplicity and low cost of the production technology, the ability to produce films of a large area, the characteristics of expensive foreign industrial UV photodiodes. The stages of development of the amplifier circuit for the selected photodiode are given. To design the amplifier circuit, the existing GUVA-S12SD UV Sensor V2 amplifier circuit was analyzed, and a custom circuit was developed with the following advantages: unipolar power; smaller potential difference between input and output compared to analog; different voltages are measured. The developed circuit uses the simplest resistive voltage divider, which is two series resistors connected to a voltage source. The scheme denominations were calculated. The sequence of printed circuit board (PCB) execution in the Sprint-Layout software environment is described. An image of the developed circuit board is shown. An analog-to-digital converter KI108PY1A is selected for signal processing from the amplifier and its technical characteristics are given. The block diagram of the dosimeter of energy illumination is offered: a photodiode, an amplifier of an input signal, an analog-to-digital converter, a microcontroller. As a microprocessor to be connected to the ADC, an electronic stand based on a microcontroller will be used to debug programs using ATmega16A. The obtained circuit solutions for the construction of a UV dosimeter based on a CdS photodiode can be used to quickly create an industrial device that will be an integral part of the complexes for disinfecting the metro and other rooms from viral infections.

Keywords — ultraviolet radiation, amplifier, cadmium sulfide, photodiode.



Євгеній Аршан, Роман Бондаренко, Тетяна Семісіна к.т.н., ст.н.с.

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО СТЕНДУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ДЛЯ НАЛАГОДЖЕННЯ ПРОГРАМ

Мікропроцесори та похідні від них – мікроконтролери (МК) – є широко поширеним елементом інфраструктури сучасного суспільства, заснованого на електроніці і комунікаціях.

Сучасна стратегія модульного проектування забезпечує споживача різноманітністю моделей МК з одним і тим же процесорним ядром. Така структурна і різноманітність відкриває перед розробником можливість вибору оптимального МК [1]. Програмування мікроконтролерів здійснюється різними шляхами:

1. Шляхом тестування на симуляторах;
2. Розробка макетів.

Але в цих двох методах є суттєві недоліки: робота в симуляторі часто відрізняється від роботи з електронними пристроями, при збиранні на макетній платі можна зробити помилку і вивести контролер з ладу або підключити невірно. Тому **актуальною** є задача створення налагоджувальної плати що дозволить усунути недоліки при програмуванні МК.

Постановка задачі роботи. Розробка стенду для налагодження програм на основі AVR мікроконтролера що задовольнятиме умовам простоти інтерфейсу та низької вартості плати.

Для **розв'язання задачі** було розроблено схему електричну принципову зі стандартними електричними елементами рис. 1.

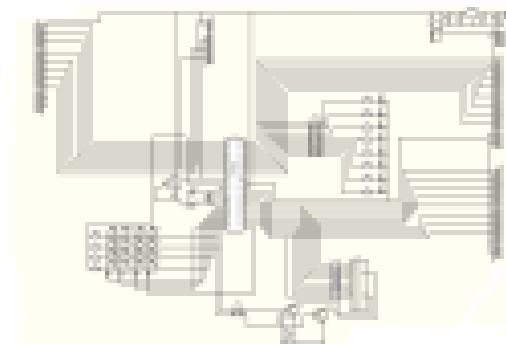


Рис. 1 – Схема електрична принципова

В розробленому стенді використовується 8 - розрядний мікроконтролер сімейства AVR ATmega32A. Цей мікроконтролер виготовлений по кремій-метал-оксид-напівпровідник (КМОП) - технології, яка в поєднанні з RISC архітектурою дозволяє досягти найкращого співвідношення показників швидкодія/енергоспоживання [2]. Усі елементи є стандартними, що значно збільшує технологічність виробу. Семисегментний індикатор і світлодіоди використовуються для світлової індикації в залежності від виконання певної програми. Для обмеження струму поставлені резистори на кожен вивід індикатора (крім 5 і 10 виводу) і по одному резистору на вихідний контакт світлодіода. Чотири резистора по 10 кОм, чотири діоди і 16 кнопок формують матрицю кнопок для наступного задання програми. Транзистори використовуються для створення динамічної індикації, що дозволить не перенавантажувати мікроконтролер. Штекерні вводи потрібні для відключення додаткових периферійних плат.

Висновки. Було розроблено електронний стенд на основі мікроконтролера ATmega32A. Даний стенд дозволяє проводити перевірку коректної роботи програм. Стандартна комплектація стенду забезпечує низьку вартість, простоту в використанні, та багатофункціональність, яка реалізується завдяки можливості підключення додаткових підєктів в ролі периферії. Перевагами розробки в порівнянні з аналогами є: простота конструкції, простота інтерфейсу, зменшена вартість, мультизадачність, можливість швидкої заміни контролера.

Література

1. http://www.labkit.ru/html/programmatars_s.htm?id=444 - Електронний ресурс - LabKit
2. Бойко В.І. Схемотехніка електронних систем. Мікропроцесори та мікроконтролери: підручник/ Бойко В. І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. – К.: Вища шк., 2004. – 399с.

СИСТЕМА АДАПТИВНОГО КОНТРОЛЮ ОСВІТЛЕННЯ

Аршан Є.В.

студент Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9315-2801>

Бондаренко Р.І.

студент Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5529-0186>

Калачников О.О.

студент Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9387-7834>

Ямненко Ю.С.

Д.т.н., проф., Зав. каф. електронних пристроїв та систем факультету
електроніки Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-6420>

Сучасний розвиток науки і технологій в галузі електроніки та телекомунікацій призвів до появи та широкого впровадження інтелектуальних систем прийняття рішень, аналізу сигналів з великої кількості датчиків різних типів у режимі реального часу, реалізації концепції Інтернету речей на рівні побутових користувачів. Бурхливого розвитку

зазнали концепції MicroGrid та SmartGrid, сучасні будівлі все в більшому ступені оснащуються засобами та технологічними рішеннями «розумних приладів» [1].

Система «розумний будинок» - це високотехнологічна система, яка інтегрує та керує усіма підсистемами та комунікаціями об'єкту побутового типу. Освітлення, опалення, сигналізація, відеоспостереження - це далеко не всі системи, якими можна керувати за допомогою системи «розумного будинку».

Наприклад, система керування освітленням дозволяє запрограмувати освітлювальні сценарії будинку. Інтелектуалізація освітлення, крім можливості програмування сценаріїв, полягає у можливості підлаштування під потреби та побажання користувачів, які вносять корективи у можливі сценарії або створюють нові. Застосування сучасних методів штучного інтелекту, включаючи машинне навчання, математичний апарат штучних нейронних мереж, дозволяє здійснити навчання системи з урахуванням особливостей конкретного будинку і конкретного користувача послуг [2].

В найпростішому випадку підлаштування освітлення проявляється у автоматичному вмиканні світла, коли людина з'являється або залишає кімнату. Додатково до освітлення підлаштовуються і інші параметри мікроклімату - система управління опаленням підтримує температуру у всьому будинку або в окремих приміщеннях у заданому діапазоні [3].

Відстеження активності людини у приміщенні є одним із найпоширеніших методів керування освітленням, що застосовуються в сучасних будівлях. Це дозволяє автоматично затемнювати або вмикати світло після того, як певний простір був вільним протягом певного періоду часу, визначеного користувачем. Як тільки рух виявляється, освітлення знову вмикається або збільшується за бажанням [4]. Виявлення руху обробляється датчиками руху, що використовують інфрачервону,

ультразвукову або мікрохвильову технологію зондування. Кількість датчиків, які слід розгорнути у даному просторі, щоб забезпечити реалізацію сценаріїв освітлення, залежить як від розміру та типу цього простору, так і від бажаної функціональності освітлення. Найбільшу гнучкість має сценарій, що передбачає розділення простору на декілька окремих зон освітлення, за кожною з яких відповідає один або декілька датчиків. Коли рух виявляється в одній із зон, освітлюється лише ця конкретна зона. Таке розташування є ефективним на великих відкритих просторах, сходах або довгих коридорах (приклад наведено на мал. 1, де виділено дві зони та відповідно два датчики).



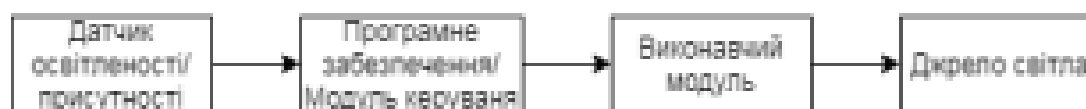
Мал. 1. Поділ приміщення на зони освітлення

Часткове освітлення зони 2 на рис.1 пов'язано з появою людини в зоні, що охоплюється датчиками присутності [5]. В такому випадку спрацювуватимуть лише світильники, що відповідають за цю зону, і як тільки людина виходить із кімнати, весь простір знову стає темним.

Зондування зайнятості - це перевірена ефективна стратегія зменшення споживання енергії освітлення, і тому є необхідною вимогою енергетичного кодексу комерційних будівель. Потенційна економія, яка може бути досягнута у такій системі, суттєво різниться залежно від різних типів приміщень, причому найбільші переваги можна отримати в тих, в яких працівники працюють з перервами – наприклад, навчальні класи або офісні

приміщення. Однак загальне зниження світлового навантаження приблизно на 20-30% можна досягти таким чином у більшості типів комерційних просторів [6].

Системи адаптивного керування освітленням можна умовно поділити на два види: системи керування локальним та загальним освітленням. Локальне освітлення використовується для робочих зон та робочих приміщень, тобто місць, де потрібне більше освітлення або освітлення із заданими специфічними параметрами. Такі системи мають спрощену структуру керування, оскільки вони відповідають за невелику кількість джерел світла. Розробка та установка системи адаптивного локального освітлення є актуальною задачею за умови періодичного використання робочого місця. Така система проектується із застосуванням датчиків освітленості (або присутності) та модуля обробки даних (мал. 2).



Мал. 2. Структура системи керування локальним освітленням

Зв'язок між модулями системи локального освітлення доцільно організувати за допомогою провідного з'єднання. Таке з'єднання може бути організоване за допомогою стандарту RS-485, або кабелю UTP5. Оскільки модулі такої системи розташовані на малій відстані один від одного, таке з'єднання забезпечить порівняно більшу швидкість роботи системи та меншу кількість помилок при передачі сигналу. Недоліком такого з'єднання є конструктивні аспекти, що передбачають прокладання дротів при монтажі.

Система адаптивного керування загальним освітленням потребує більшої складності керування та більшої кількості компонентів, оскільки охоплює більшу частину приміщення, ніж локальне освітлення. Загальне освітлення використовується в житлових, навчальних, робочих, офісних приміщеннях. Адаптивне керування освітленням необхідне для економії

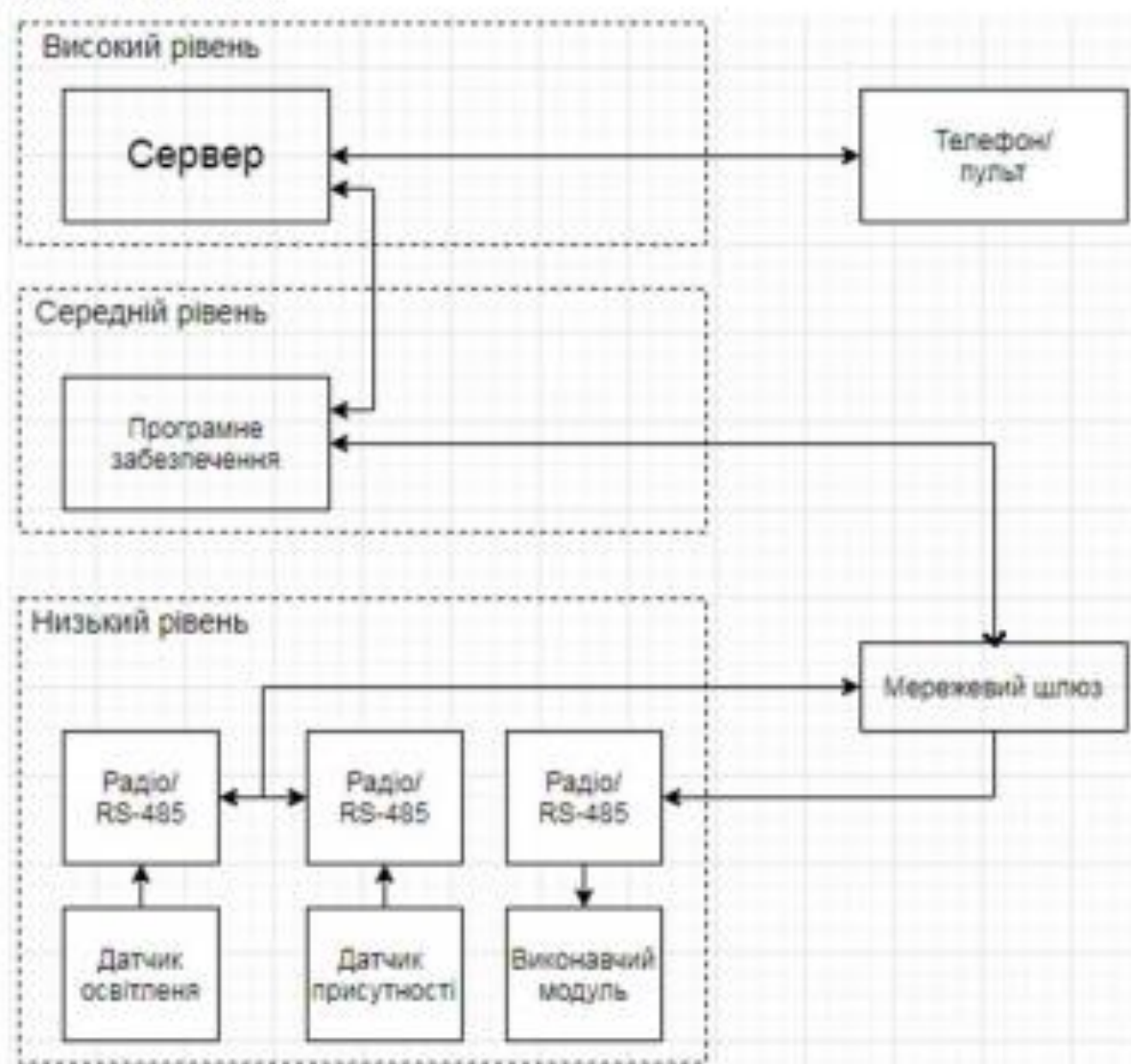
електроенергії за допомогою контролю джерел освітлення. Така система включає датчики освітлення та датчики присутності, мережевий шлюз, пристрій керування, на якому встановлене програмне забезпечення, що здатне опрацювати сигнали з датчиків та приймати рішення про вмикання/вимикання освітлення та реалізацію заданих сценаріїв, а також виконавчий модуль (мал. 3). Для реалізації складних сценаріїв та забезпечення функціонального моніторингу система може включати в себе сервер, на дисплеї якого відображаються наявні пристрої, їх стан, а система керування вносить необхідні корективи у сценарії відповідно до умов сценаріїв, сигналів з датчиків та корегувань з боку користувача.



Мал. 3. Структура системи керування загальним освітленням

Кількість компонентів і складність системи залежить від кількості джерел світла. Також дана система може бути побудована за іншою топологією, наприклад, «зірка», але централізація системи може загрожувати збільшенням кількості помилок при передачі сигналу бездротовими технологіями.

Систему адаптивного керування освітленням можна побудувати у вигляді ієрархічної структури – наприклад, трирівневої (високий, середній, низький рівні на мал. 4).



Мал. 4. Рівні системи керування адаптивним освітленням

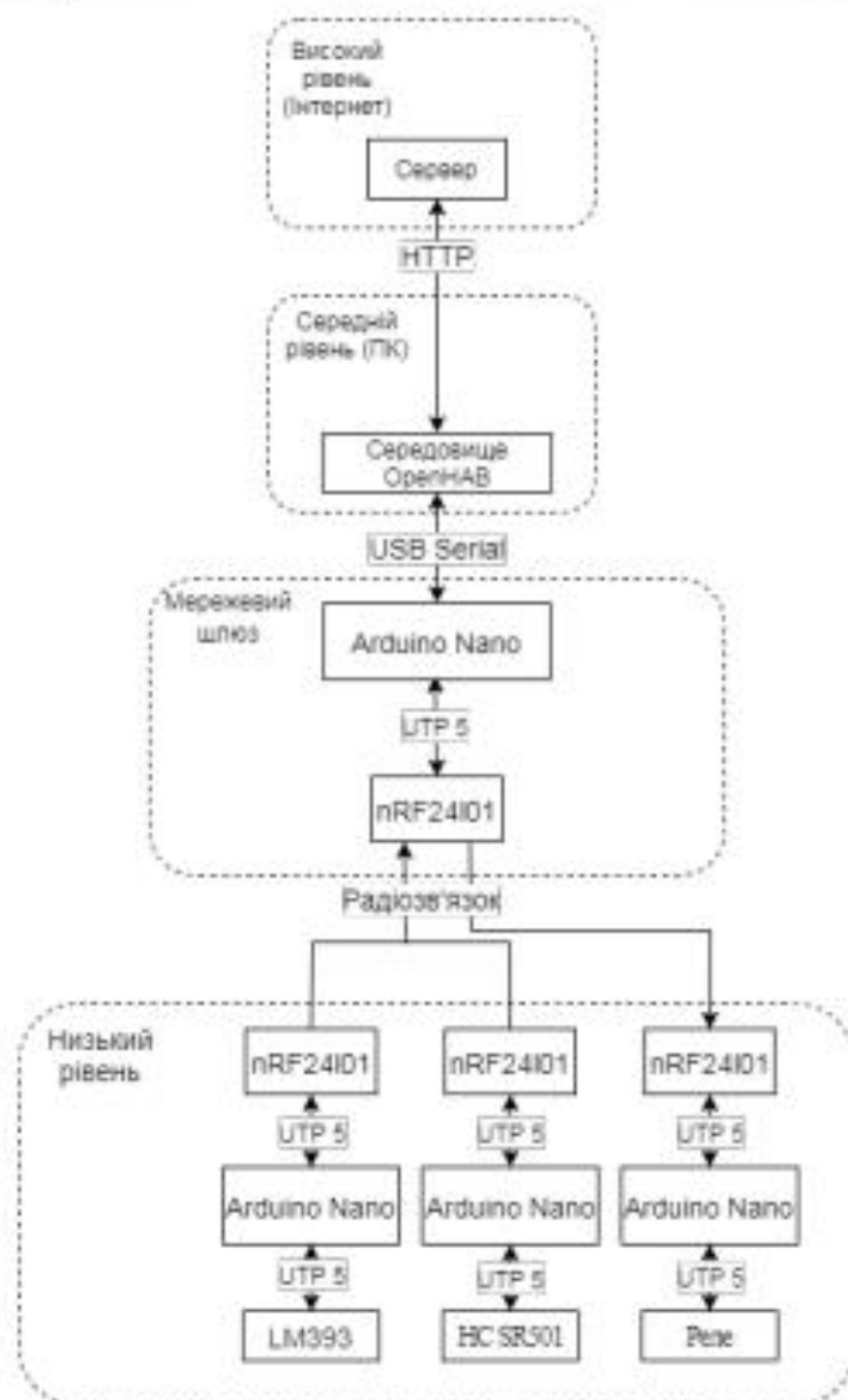
На низькому рівні розміщуються датчики та виконавчий модуль. В якості виконавчого модуля для таких систем зазвичай використовують реле. Всі датчики за допомогою радіозв'язку або протоколу передачі даних RS-485 (стандарт передачі даних двопровідним напівдуплексним багатоточковим послідовним каналом зв'язку) передають сигнал про стан освітлення приміщення чи про присутність людей в приміщенні до мережевого шлюзу. З мережевого шлюзу надходить сигнал до виконавчого

модуля. Мережевий шлюз виконує функцію роутера і використовується для узгодження низького та середнього рівня системи.

Середній рівень представляє собою програмне забезпечення, реалізоване на ПК або модулі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi. Програмне забезпечення здатне обробляти сигнали від датчиків світла та присутності і приймати рішення про вмикання та вимикання світла. В ролі такого програмного забезпечення можуть бути використані такі середовища, як OpenHAB, Home Assistant, Majordomo, та інші. Програмне середовище середнього рівня приймає сигнал від датчиків освітлення та руху, що розташовані на низькому рівні, через мережевий шлюз, обробляє їх згідно заданого алгоритму, та передає команду на реле про ввімкнення або вимикання світла.

Високий рівень організовується за допомогою серверу, що реалізує керування програмним середовищем і відповідно освітленням віддалено – за допомогою смартфона або іншого пристрою, що передбачає підключення до мережі інтернет.

Структурну схему системи адаптивного керування освітленням для одного джерела освітлення розроблено на базі процесора Arduino Nano. При збільшенні кількості джерел освітлення, збільшиться і кількість виконавчих елементів та датчиків освітлення (в залежності до поставленої задачі). Дана схема побудована за трирівневою ієрархічною структурою (мал .5).



Мал. 5. Структурна схема проектованої системи адаптивного керування освітленням

У спроектованій системі адаптивного керування освітленням використано комбіновану топологію та тип зв'язку між компонентами системи. На нижньому рівні використовується топологія мережі «зірка», що забезпечується провідниковим з'єднанням за допомогою кабелю UTP 5, що в

свою чергу забезпечує надійність, високу швидкість передачі даних та завадостійкість. Середній та високий рівні пов'язані між собою за топологією «шина», що в свою чергу забезпечує надійність системи. При виході з ладу одного з пристроїв високого чи середнього рівня система контролю освітлення (нижній рівень) продовжить працювати в штатному режимі, ускладниться лише візуальне відображення пристроїв керування або можливість ручного налаштування системи.

Таким чином, реалізація адаптивного керування освітленням є важливим компонентом сучасних інтелектуальних систем типу «розумний будинок». Реалізація складних сценаріїв освітлення та підлаштування під потреби конкретного користувача можливо за допомогою багаторівневої ієрархічної структури системи.

Список використаних джерел:

1. J. Yamnenko, Forecasting of electricity consumption in SmartGrid [Електронний ресурс] / T. Tereshchenko, L. Klepach and D. Palii //International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8248891/>
2. Margaret Rouse. Smart home or building (home automation or domotics). URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-home-or-building> (дата звернення: 03.11.2020).
3. J. Yamnenko, Forecasting of electricity consumption in SmartGrid [Електронний ресурс] / T. Tereshchenko, L. Klepach and D. Palii //International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8248891/>
4. Ming J. Virtual Occupancy Sensing: Using Smart Meters to Indicate Your Presence [Електронний ресурс] / J. Ming, J. Ruoxi, J. Costas // IEEE Transactions on Mobile Computing. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7882676/>.

5. Adaptive lighting systems: Occupancy sensing [Електронний ресурс] // Silvail. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://silvail.com/blog/adaptive-lighting-systems-occupancy-sensing/>.

6. P. Ihm. Estimation of lighting energy savings from daylighting [Електронний ресурс]/ P. Ihm, A. Nemri, and M. Krarti // Building and Environment. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132308000760>