

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

**Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення**  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка системи реєстрації сигналів люмінесценції  
квантово-біологічної структури

Виконав: студент II курсу, групи 8.1531  
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна  
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні  
системи

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

М.О. Некрасов

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.ф.-м.н.,  
Світанько М.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент завідувач кафедри електричної інженерії  
та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ,  
професор, д.т.н., Коваленко В.Л.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**  
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»  
(код і назва)  
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи  
(код і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕІСПЗ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Некрасову Максиму Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

керівник роботи Світанько Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “02” червня 2022 року № 597-с

2 Строк подання студентом роботи 10 грудня 2022 року

3 Вихідні дані до роботи БСА,  $Cu_2S-CdS$  ( $Cu_2S-Zn_xCd_{1-x}S$ ), 220 В, 24 В, Proteus

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Дослідження люмінесценції квантово-біологічних структур 2. Розробка системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури 3. Техніко – економічне обґрунтування 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
1. Молекула БСА – транспорт квантової точки. 2. Блок-схема обладнання для утворення КТ  $Cu_2S-CdS$  ( $Cu_2S-Zn_xCd_{1-x}S$ ) 3. Структурна схема системи

реєстрації сигналів квантово-біологічної структури 4. Електрична схема для управління RGB – світлодіодом 5. Схема електрична принципова попереднього підсилювача 6. Конструкція SIPM 7. Інтегральна схема SPIROC для керування роботою фотодетекторів 8. Моделювання функціональних блоків системи в редакторі Proteus

#### 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	02.06.2022	02.06.2022
<i>II</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	02.06.2022	02.06.2022
<i>III</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	02.06.2022	02.06.2022
<i>IV</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	02.06.2022	02.06.2022

7 Дата видачі завдання 02 червня 2022 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	24.06.2022	
2	<i>Розрахункова частина</i>	31.10.2022	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування розробки</i>	30.09.2022	
4	<i>Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки</i>	30.09.2022	
5	<i>Розробка графічної частини роботи</i>	21.11.2022	
6	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	21.11.2022	
7	<i>Нормоконтроль</i>	29.11.2022	
8	<i>Попередній захист роботи</i>	09.12.2022	

Студент \_\_\_\_\_ Некрасов М.О.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_ Світанько М.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

#### Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Верьовкін Л.Л.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## Реферат

Дипломна робота містить 81 сторінку, 25 рисунків, 10 таблиць, 30 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – квантово-біологічні інформаційні системи.

Мета роботи – розробка та дослідження системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури.

Завдання роботи – провести аналіз існуючих систем реєстрації сигналів люмінесценції, та обрати для подальшого аналізу найбільш оптимальну і розробити на її основі оптоелектронну систему реєстрації слабких люмінесцентних сигналів, що надходять від біологічних об'єктів.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus, MathCad.

Короткий виклад результатів досліджень – параметри структури  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) є достатніми для використання її у якості транспорту квантової точки із захопленими біологічним об'єктом малого розміру, а схеми реєстрації на основі SiPM фотодетекторів можуть забезпечити ефективну реєстрацію інформативних сигналів системи.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується подальша доробка схеми на основі технології SiPM.

КВАНТОВА ТОЧКА, ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ, СВІТЛОДІОД, ФОТОПОМНОЖУВАЧ, PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01.09.2022 р. по 10.12.2022 р.

## Зміст

	Стор.
Вступ .....	6
1. Дослідження люмінесценції квантово-біологічних структур.....	7
1.1 Використання квантових точок у медико-біологічних дослідженнях.....	7
1.2 Процес транспортування квантових точок за допомогою білкових структур.....	9
1.3 Сучасне обладнання для досліджень люмінесцентних спектрів.....	12
1.4 Проблеми реєстрації люмінесцентних сигналів слабкої інтенсивності....	17
2. Розробка системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури.....	19
2.1 Виготовлення структури квантових точок на основі наноматриці $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$ ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ).....	19
2.2 Розробка структурної схеми системи.....	24
2.3 Оптичний канал системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури.....	27
2.3.1 Розробка світлопроміювального каналу.....	27
2.3.2 Розробка каналу реєстрації сигналу люмінесценції.....	30
2.4 Модель удосконалення оптичної системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури.....	33
2.4.1 Реєстрація оптичного сигналу SiPM фотопомножувачем.....	33
2.4.2 Керування роботою SiPM фотодетекторами.....	37
2.5 Моделювання роботи функціональних блоків системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури.....	40
3 Техніко – економічне обґрунтування виготовлення електронних схем системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури....	46
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем сис-	

теми реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури.....	46
3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури .....	52
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури .....	53
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	53
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	56
4.3 Виробнича санітарія .....	58
4.4 Електробезпека .....	62
4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека .....	63
4.6 Розрахунок місцевого освітлення робочого місця при монтажі елементів на плату .....	65
Висновки та рекомендації .....	68
Перелік посилань.....	70
Додаток А .....	74

## Вступ

Один із видів люмінесценції – флуоресценція - є методом дослідження структури і динаміки процесів, які протікають у біологічних середовищах. Поєднання методів флуоресценції і моделі напівпровідникової квантової точки надає можливість проводити дослідження біологічних нанооб'єктів при відносних обмеженнях у експериментальному обладнанні [1].

Квантові точки (КТ) - це напівпровідникові нанокристали, в яких завдяки ефекту просторового обмеження носіїв зарядів проявляються квантові властивості. Найбільш суттєвим з них є формування флуоресцентних рівнів - довжина хвилі випромінювання флуоресценції стає залежною від розміру області просторового обмеження, а отже, від розміру квантової точки. Напівпровідникові КТ зазвичай синтезують із елементів груп II - VI або III - V періодичної таблиці, наприклад, CdSe, CdTe або InAs [1,2].

Значною проблемою у такого роду дослідженнях є наявність ефективної прицельної апаратури відповідних спектральних діапазонів. Нажаль, експериментальна лінійка таких приладів на сьогоднішній час є важкодоступною і досить дорогою.

Безпосередньо, при створенні таких систем, окрім використання унікального оптичного обладнання, досить актуальним є питання електронного оснащення механізмів керування та інформаційних каналів реєстрації та обробки сигналів.

Тому, актуальним постає питання про створення систем реєстрації сигналів люмінесценції, особливо в однофотонному режимі.

## 1. Дослідження люмінесценції квантово-біологічних структур

### 1.1 Використання квантових точок у медико-біологічних дослідженнях

Як зазначалося вище, квантові точки (КТ) - це напівпровідникові нанокристали, в яких завдяки ефекту просторового обмеження носіїв зарядів проявляються квантові властивості. Найбільш суттєвим з них є формування флуоресцентних рівнів - довжина хвилі випромінювання флуоресценції стає залежною від розміру області просторового обмеження, а отже, від розміру квантової точки. Напівпровідникові КТ зазвичай синтезують із елементів груп II - VI або III - V періодичної таблиці, наприклад, CdSe, CdTe або InAs [1,2].

Для підвищення ефективності флуоресценції зазвичай застосовують КТ-структури ядро/оболонка, в яких флуоресцентне напівпровідникове ядро (наприклад, CdSe) покривають оболонкою з іншого напівпровідника з більш широкою забороненою зоною (наприклад, CdS або ZnS). Введення оболонки значно покращує флуоресцентні властивості КТ та їхню хімічну стійкість. Діаметр квантових точок (від 1,5 нм і вище) можна контролювати в процесі синтезу, варіюючи час реакції, що проходить при температурі близько 300°C, від хвилин до декількох годин або просто відбираючи необхідну кількість продукту через різний час після початку реакції, тим самим задаючи необхідну довжину хвилі максимуму випромінювання. Найбільш часто використовувані в біології та медицині нанокристали складаються з ядра CdSe, покритого оболонкою ZnS, і CdTe, які мають (на сьогодні) максимальний ефективний коефіцієнт екстинкції і квантовий вихід [3,4].



Однією з областей застосування КТ, що найбільш активно розвиваються, є використання колоїдних квантових точок (напівпровідникових нанокристалів в органічних і водних розчинах) як люмінесцентні мітки для візуалізації структури біологічних об'єктів різного типу і для надчутливого детектування біохімічних реакцій, які вкрай важливі в молекулярній та клітинній діагностики та терапії. Люмінесцентна мітка являє собою люмінофор, пов'язаний з молекулою-лінковщиком, яка може селективно зв'язуватися з біоструктурою, що детектується (мішенню). Як люмінофори міток зазвичай використовуються органічні барвники. Але в порівнянні з органічними барвниками, які традиційно використовуються для маркування біологічних молекул, напівпровідникові КТ мають ряд принципових переваг [3,4].

Нанокристали демонструють вузькі та симетричні смуги люмінесценції, ніж звичайні органічні барвники. Це є надзвичайно важливою перевагою при аналізі кольорових зображень. Додатковою перевагою є те, що нанокристали мають широку смугу поглинання з високим молярним коефіцієнтом екстинкції, що відповідає переходам у високоенергетичні стани. Її становище слабо залежить від розміру квантової точки. Тому, на відміну від барвників, виявляється можливим ефективне збудження люмінесценції нанокристалів різних розмірів одним лазерним джерелом світла. Однак основною перевагою є те, що нанокристали мають чудову фотостійкість: вони не вицвітають протягом кількох годин і навіть днів. Ця властивість дозволяє збільшити інтенсивність збудження підвищення чутливості методу, і навіть проводити тривале (протягом тижнів) відстеження поведінки флуоресцентної мітки у живих клітинах і тканинах [5-7].

Поверхнева хімія нанокристалів розвинена і дозволяє формувати покриття, що містять функціональні поверхневі шари для приєднання до них біологічних молекул і забезпечують біосумісність нанокристалів. І хоча низка аспектів їх використання ще потребує з'ясування, люмінесцентні мітки

на основі квантових точок вже продемонстрували свої великі можливості у біологічному аналізі [8].

## 1.2 Процес транспортування квантових точок за допомогою білкових структур

У процесі дослідження вкрай необхідно забезпечити транспорт КТ. Одним із ефективних транспортів КТ можна використати бичачий сироватковий альбумін (БСА). Бичачий сироватковий альбумін (БСА) – основний транспортний білок сироватки крові, що є зручною моделлю для біофізичних досліджень зв'язування з мікромолекулами у зв'язку з його гарною вивченістю [3,4].

Молекула БСА являє собою один поліпептидний ланцюг з 607 амінокислотних залишків вагою 66 кДа, складену у вигляді ряду петель, організованих у три гнучко пов'язані домени (I, II, III), кожен з яких складається з двох субдоменів (A, B), і представляє собою форму серця з розмірами  $8 \times 8 \times 3$  нм (Рисунок 1.1) [3,4].

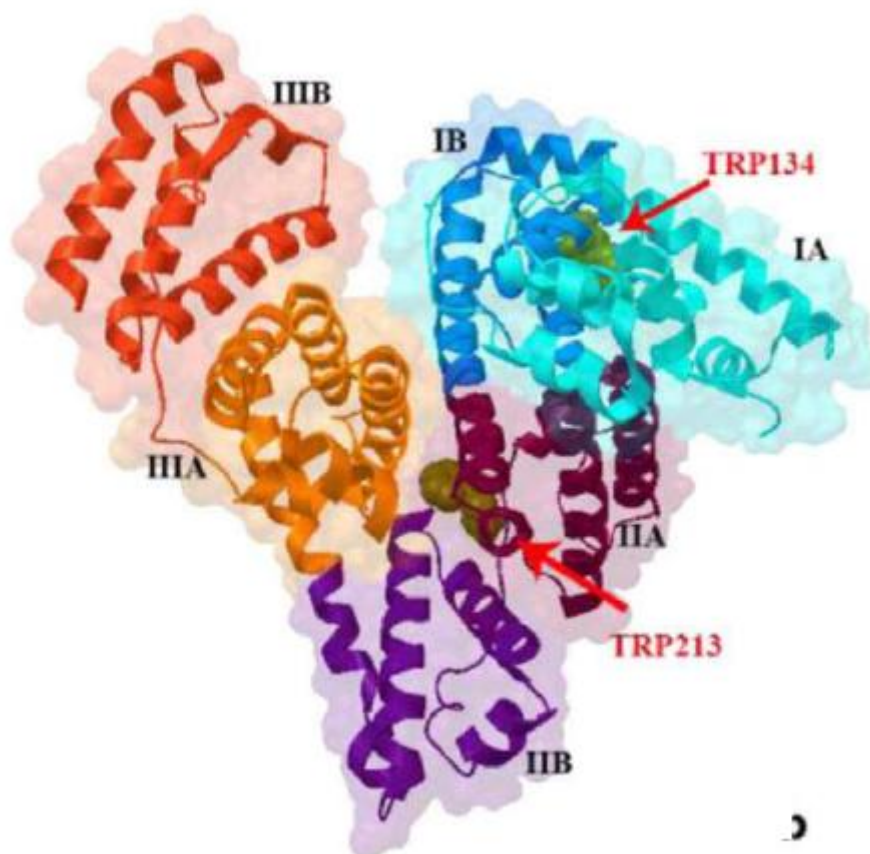


Рисунок 1 – Структура БСА

Ізоелектрична точка приблизно дорівнює 4,9. При фізіологічному значенні рН 7,4 молекула альбуміну несе сумарний негативний заряд. Білок БСА лабільен, його структура залежить від концентрації іонів водню, ультрафіолетового опромінення, високих температур та органічних розчинників [3,4].

Бичачий сироватковий альбумін містить два залишки триптофану – Trp 134 та Trp 213, тирозон (Tyr) and фенілаланін (Phe). Trp 134 знаходиться на

поверхні субдомену ІВ і більш схильний до впливу навколишнього середовища в порівнянні з Trp 213, який розташований у гідрофобній порожнині субдомену ІА. Наявність у молекулі БСА двох триптофанових залишків дозволяє використовувати для дослідження цього білка метод флуоресцентного аналізу, а саме аналіз власної триптофанової флуоресценції білка [3,4].

Дослідження спектру поглинання та люмінесценції КТ (CdTe) із використанням транспорту на основі БСА представлений на рисунку 1.2 [5-8].

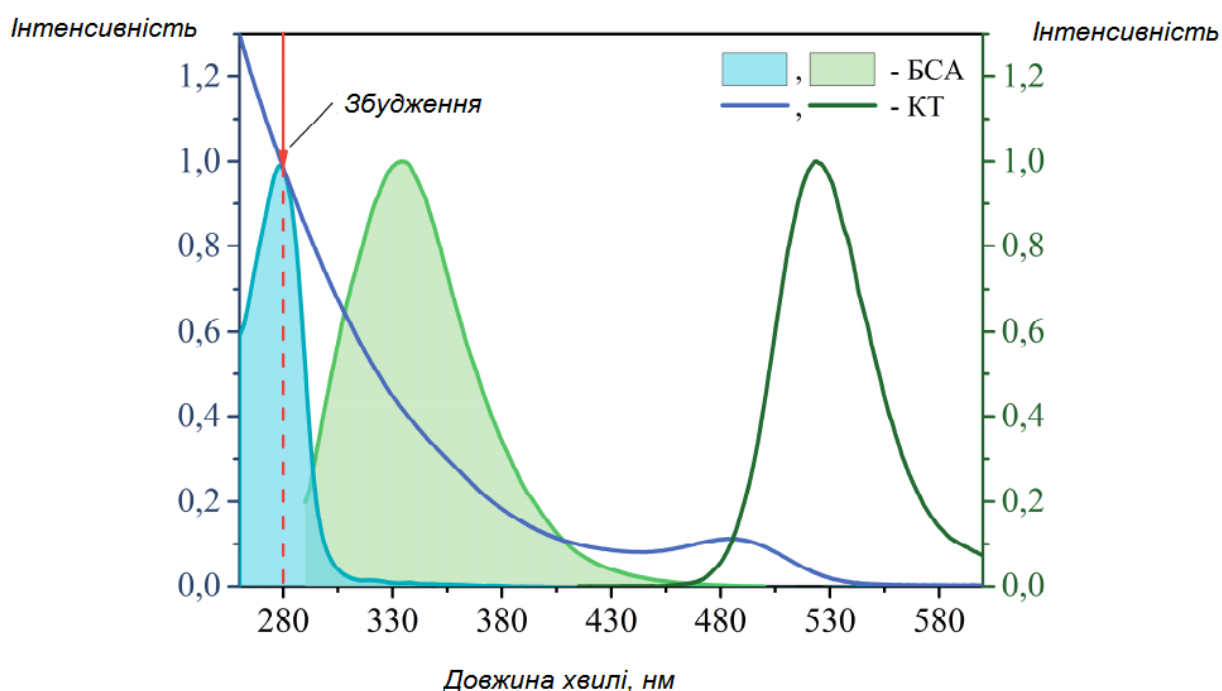


Рисунок 1.2 - Спектри поглинання та люмінесценції КТ (CdTe) із використанням транспорту на основі БСА

Дослідження властивостей подібних структур потребують використання ефективного прицезійного спектроскопічного обладнання. Особливо ефективним інструментом є можливість реєстрації одно фотонного механізму випромінювання [5-8].

### 1.3 Сучасне обладнання для досліджень люмінесцентних спектрів

В даний час вітчизняною промисловістю випускається сімейство люмінесцентних аналізаторів типу «Флюорат», застосовуваних в самих різних областях науки і техніки. Їх найбільш універсальним представником є «Флюорат-02», представлений на Рисунок 1.3.



Рисунок 1.3 «Флюорат-02» - базовий прилад для групи аналітичних методів: флюориметрії, фотометрії, хемілюмінометрії [9].

За допомогою цього приладу нафтопродукти і феноли визначаються за власною люмінесценцією, поверхнево-активні речовини (ПАР) - по люмінесценції іонних пар з барвником, більшість катіонів та аніонів - по люмінесценції їх комплексів з органічним барвником, хром - хемілюмінесцентним методом (хром каталізує реакцію, що протікає з випусканням світла), ціаніди, ванадій і титан - фотометричним методом і т.д.

В аналізаторі «Флюорат-02» використовується імпульсна ксенонова лампа високого тиску, що забезпечує достатні світлові потоки у всьому спектральному діапазоні оптичних методів - від жорсткого ультрафіолету до червоної межі видимого світла.

Основний режим роботи аналізатора – флюориметрія. Прилад може також працювати як фотометр або хемілюмінометр.

**Переносний спектрофотометр DR1900.** Прилад DR1900 прекрасно підходить для використання в польових умовах, так як є найлегшим і компактним портативним спектрофотометром. При роботі в польових умовах нам доведеться використовувати прилад при наявності пилу і вологості (Рисунок 1.4).

Спектрофотометр пристосований для використання в несприятливих умовах, універсальний, підтримує широкий діапазон розмірів ампул. Прилад DR1900 створений з урахуванням використання в польових умовах, оснащений великим зручним екраном і простим користувацьким інтерфейсом, що дозволяє більше, ніж коли б то не було, спростити тестування навіть у складних умовах. Компактний прилад DR1900, простий в обігу і управлінні - прекрасний пристрій для проведення досліджень в польових умовах.

Спектрофотометр володіє найбільшим діапазоном вбудованих стандартних запрограмованих методів тестування при вимірюванні в несприятливих умовах - більш 220. Також можна створити власні методи за допомогою простого у використанні інтерфейсу. Перевірки здійснюються при діапазоні довжин хвиль від 340 до 800 нм, що робить даний прилад придатним для використання в польових умовах, при тому, що результати, які він дозволяє отримувати, зазвичай доступні тільки на лабораторних приладах.

Примітка: можна виконувати вимірювання за допомогою кюветного тесту LCK, але без ідентифікації штрих-коду, 10-кратного вимірювання і з виключенням ізольованої частини.



Рисунок 1.4 - Переносний спектрофотометр DR1900 [10].

**Спектрофотометр DR6000.** УФ-спектрофотометр видимої області DR6000 відрізняється високим рівнем продуктивності як при вирішенні повсякденних лабораторних завдань, так і при виконанні фотометричних вимірювань. Ця система підвищує ефективність роботи в професійній лабораторії. Інтелектуальне програмне забезпечення полегшує регулярне калібрування, гарантує точність і полегшує налаштування для спеціалізованого застосування (Рисунок 1.5).

Прилад DR6000 виконує високошвидкісне сканування довжини хвилі у видимому і УФ-спектрі, містить більше 250 заздалегідь запрограмованих методів, в тому числі і найбільш часто використовувані сучасні методи. Прилад оснащений додатковими аксесуарами, що дозволяють тестувати великий обсяг матеріалу за допомогою обертового перемикача зразків.

Можна збільшити точність вимірювань, використовуючи систему подачі зразків, яка виключає помилки через різницю оптичних сигналів. Прилад відповідає широкому спектру вимог до тестування води.



Рисунок 1.5 - Спектрофотометр DR6000 [11].

**Спектрофотометр UV-VIS Solar.** UV-спектрофотометри «Solar» працюють в ультрафіолетовій, видимій та ближній інфрачервоній областях спектру (Рисунок 1.6). Вони застосовуються в наукових лабораторіях, установах охорони здоров'я, ветеринарії, фармацевтиці, екології, біології тощо, в лабораторіях контролю якості продукції і сировини різних галузей господарства (промислові підприємства, сільське господарство, харчова промисловість і т.д.)

Цей спектрофотометр має такі переваги: змінні кюветні тримачі та приставки; велике кюветне відділення спектрофотометра дозволяє легко і швидко змінювати кюветні тримачі і приставки для проведення різних вимірів; точність вимірювання;

В якості єдиного джерела світла в UV-спектрофотометрі використовується імпульсна ксенонова лампа. Термін її служби практично



необмежений, на відміну від галогенової і дейтерієвої ламп. Крім зручності в експлуатації, це істотно знижує витрати на обслуговування.

Завдяки використанню імпульсної ксенонової лампи стороннє світло не впливає на точність вимірювань. Робота з досліджуваними зразками може проводитися з відкритим кюветним відділенням. Немає необхідності витрачати час на закриття і відкриття кришки під час роботи.



Рисунок 1.6 - Спектрофотометр UV-VIS Solar

Працює в автономному режимі (без підключення спектрофотометра до комп'ютера).

Роздруківка результатів вимірювання відбувається без підключення спектрофотометра до комп'ютера завдяки вбудованому термопринтеру.

Вимірювальні функції:

- вимірювання спектрів поглинання, пропускання, відбиття;
- вимірювання оптичної щільності, коефіцієнта пропускання і коефіцієнта відбиття на фіксованих довжинах хвиль;
- визначення концентрації на одній, двох, трьох довжинах хвиль по фактору, стандарту, графіку [12].

#### 1.4 Проблеми реєстрації люмінесцентних сигналів слабкої інтенсивності

При створенні різних приладів реєстрації люмінесцентних сигналів виникає проблема реєстрації видимого випромінювання малої інтенсивності, яка зазвичай вирішується як шляхом удосконалення фотоприймачів, що перетворюють фотони на електричний сигнал, так і аналогових пристроїв, що здійснюють попередню обробку сигналів фотоприймачів (перетворення струм-напруга, посилення, фільтрацію та ін.).

Раніше як фотоприймачі в основному застосовувалися вакуумні фотоелектронні помножувачі (Vacuum Photo-Multiplier, VPM) та p-i-n фотодіоди [13, 14]. Перевагами p-i-n фотодіодів є висока швидкодія та надійність, малі габарити та вартість, працездатність у магнітному полі, проте низький рівень їх вихідного сигналу не дозволяє фіксувати імпульси малої інтенсивності. Крім того, роздільна здатність p-i-n фотодіодів погіршується при дії проникаючої радіації. VPM мають посилення і швидкодію, достатніми для реєстрації окремих фотонів, так званим однофотонним дозволом. У той же час VPM характеризуються високими вартістю та рівнем напруги живлення, аж до 20 кВ, чутливістю до магнітного поля.

Виникає необхідність у створенні приладів, у яких необхідно з великою просторовою та тимчасовою точністю фіксувати окремі фотони з енергіями, що відповідають видимій області оптичного спектру. До таких пристроїв висуваються такі вимоги:

- однофотонна роздільна здатність;
- велика кількість реєструючих каналів
- малі габарити, споживана потужність, вартість кожного каналу;
- збереження працездатності при впливі проникаючої радіації (радіаційна стійкість) та магнітного поля [15].

p-i-n фотодіоди та VPM не задовольняють повною мірою всім зазначеним вимогам [16, 17].

Тому, актуальним є дослідження та розробка надчутливих систем реєстрації люмінесцентних сигналів слабкої інтенсивності, що надходять від біологічних систем.

Метою роботи є дослідження та розробка системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні завдання:

- 1) провести аналіз існуючих систем реєстрації сигналів люмінесценції, та обрати для подальшого аналізу найбільш оптимальну;
- 2) розглянути питання можливості створення квантової точки на основі елементів груп II – VI;
- 3) провести дослідження структурної схеми обраної системи;
- 4) провести моделювання електричних схем окремих блоків системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури;
- 5) провести техніко-економічні дослідження системи та розробити заходи з охорони праці та техногенної безпеки робіт, що планується виконати.

## 2. Розробка системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

### 2.1 Виготовлення структури квантових точок на основі наноматриці $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$ ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ )

У роботі запропоновано у якості наноматриці для формування квантових точок (КТ) використати структуру  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ), яку було отримано за допомогою метода пульверизації із наступною термічною обробкою [18 - 20].

Виготовлення КТ  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) здійснювалось за допомогою лабораторного пристрою пульверизації, блок схема якого наведена на рис. 2.1. Пристрій складається з трьох головних елементів: системи пульверизації, система підігріву і системи вентиляції. До системи пульверизації належать: компресор (7), ротаметр (8), трубопроводи, ємність для подавання розчину (9), розпилювача (6), системи пересування розпилювача. До системи підігріву належать: пластина (5), реакційна камера з кварцу (4), нагрівник (1), термопара хромель-алюмелева (2), цифровий вольтметр (3). Пристрій розташований у шкафу з витяжною вентиляцією.

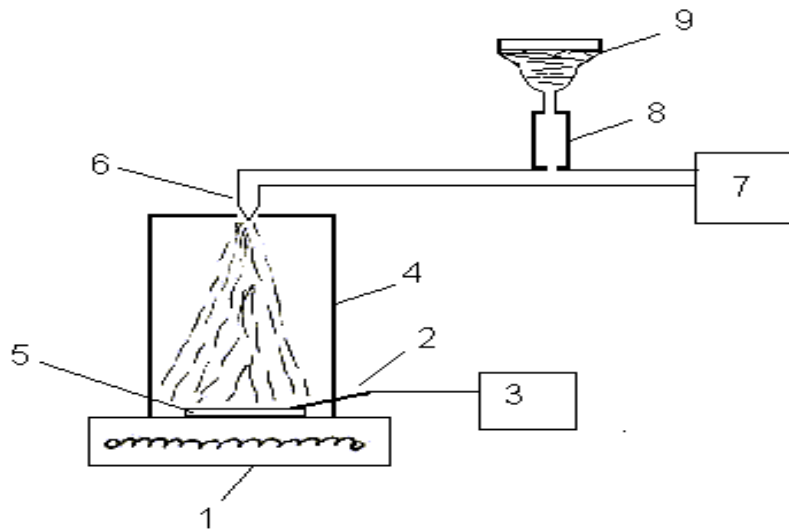


Рисунок 2.1 - Блок-схема обладнання для утворення КТ  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) за методом пульверизації.

Головні параметри процесу осадження плівок наступні: точність вимірювання температури становила не гірше  $\pm 5\%$ ; швидкість потоку розчину під час пульверизації підтримувалась на рівні 7-10 мл/хв.; відстань від сопла розпилювача до поверхні пластини була встановлена експериментальним шляхом 23 см; діаметр отвору сопла, з якого розпилюється розчин не перевищував 0,5мм. Повітря використовувалось як газ-носії і подавалося за допомогою компресора переривчасто 3-4 с для запобігання охолодження поверхні пластини. Процес пульверизації тривав протягом 3-4 хв. при разовому розпиленні протягом 5-7 с. Компресор підтримував тиск повітря близько 5 кПа. Осадження плівок відбувалось на поверхню скляних (4 см×4 см) та кремнієвих ( $\varnothing$  76 мм) пластин.

Внесення домішок проводили по схемі імпульсного лазерного напилення, коли мішень і підкладка розташовуються у вакуумній камері. Вакуумна камера (ВУП) відкачувалася до тиску  $2 \times 10^{-6}$  Торр. Для абляції мішеней використовувався КгF-лазер EMG-200 (довжина хвилі випромінювання 248 нм, тривалість імпульсу 30 нс, енергія в імпульсі до

0.5 Дж, частота повторень імпульсів 10 Гц). Випромінювання лазера фокусувалося на поверхню мішені під кутом 45-50° лінзою з фокусною відстанню 20 см, щільність потоку енергії на мішені мінялася від 1 до 5 Дж/см<sup>2</sup>. Для забезпечення рівномірного опромінення мішень оберталася із швидкістю в декілька зворотів в хвилину. Після цього суміші пресувалися в пігулки, які відпалювали при температурі 1000 °С на протязі 2 годин у атмосфері кисню.

Для дослідження поверхневого опору плівок КТ Cu<sub>2</sub>S-CdS (Cu<sub>2</sub>S-Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S) був використаний чотирьохзондовий метод. Установка для проведення вимірів поверхневого опору плівкових зразків чотирьохзондовим методом (рис.1.2) складалася з маніпулятора з чотирьохзондовою голівкою, джерела стабілізованого струму і мілівольтметра. Всі чотири зонди розташовувалися на одній лінії і індивідуально притискалися до поверхні за допомогою S-подібних пружин з вольфрамового дроту. Чотирьохзондова голівка кріпилася до маніпулятора.

Виміри U і I для кожного досліджуваного зразка проводилися шість разів: для значень напруги 1В, 2.5В, 4В при різній полярності джерела струму. Поверхневий опір плівок R<sub>□</sub> визначався по формулі:

$$R_{\square} = F_i * U_{23} / I_{14} \quad (2.1)$$

де I<sub>14</sub>- величина струму, що протікає через крайні зонди голівки 1и 4; U<sub>23</sub> - падіння напруги на середніх зондах 2,3; F<sub>i</sub>- коефіцієнт форми.

Залежно від геометричних розмірів зразка по градуйованому графіку визначався коефіцієнт форми. Основна погрішність у визначення R<sub>□</sub> обумовлена незначним варіюванням відстані між зондами при проведенні вимірів. Величина погрішності у визначенні R<sub>□</sub> складала 3%. Величина питомого опору зразка визначалася відповідно до виразу:

$$\rho = R_{\square} * t \quad (2.2)$$

де  $t$  – товщина плівок.

Товщина плівок КТ  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) вимірювалася стандартним оптичним способом.

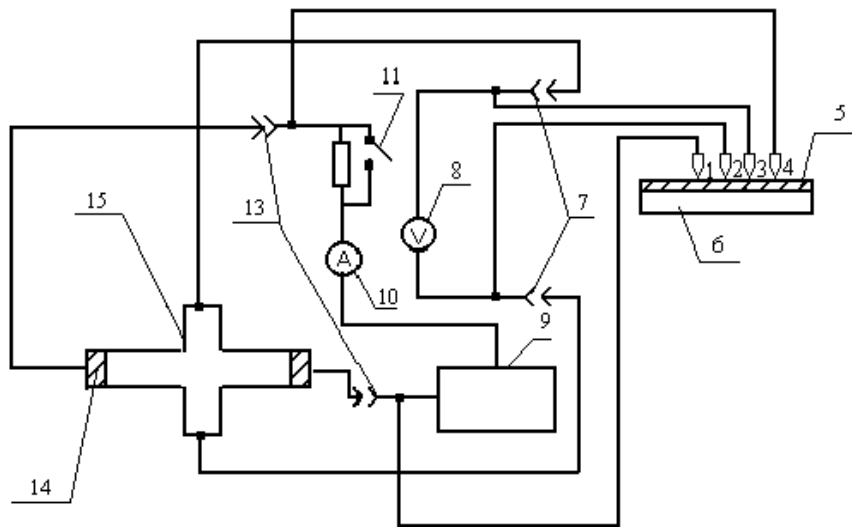


Рисунок 2.4 - Принципова схема вимірювального стану для дослідження електрофізичних властивостей напівпровідникових КТ  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ): 1, 2, 3, 4 – зонди (міжзондова відстань 1,5 мм); 5 - досліджувана напівпровідникова плівка; 6 - діелектрична підкладка; 7, 13 – електричні роз'єми; 8 – диференціальний вольтметр; 9 – стабілізоване джерело живлення; 10 – амперметр; 11 – вимикач; 12 – баластний опір ( $R_b > R_{обр}$ ); 14 – плівкові електричні контакти; 15 – досліджуваний зразок за методом е.р.с. Хола.

У таблиці 2.1 наведені результати вимірювання поверхневого опору КТ  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ), виготовлених за різними температурами підкладки. Можна бачити, що поверхневий опір спочатку зменшується із

зростанням температури, потім зростає. Таке зростання пояснюється набуттям значної долі полікристалічної фази у структурі плівки.

Таблиця 2.1 - Зміна поверхневого опору КТ  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) товщиною 424 нм, отриманих при температурах від  $300^\circ\text{C}$  до  $450^\circ\text{C}$

T, $^\circ\text{C}$	300	350	400	450
$R_s$ , Ом/см <sup>2</sup>	$1,8 \cdot 10^6$	$6,8 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^5$	$9,6 \cdot 10^5$

Для оцінки можливості виконання транспорту КТ було проведено оцінку розмірів отриманих структур.

Рентгенодифрактометричні дослідження кристалічної структури  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) (рис. 2.5) показали, що вона має полікристалічну природу. Рентгенограма має головний пік (002). Він спостерігається на куті  $2\theta=34,41^\circ$ . Піки (101), (102) та (103) мають меншу інтенсивність і спостерігаються на кутах  $2\theta=36,22^\circ$ ;  $47,49^\circ$  та  $62,81^\circ$ . Стала ґратки вздовж кристалографічній *c*-вісі в плівці  $\text{ZnO:Ga}$  складала 0,5173 нм.

Середній розмір зерна нанокристалів  $\text{ZnO:Ga}$  (*D*) було оцінено за формулою Шерера:

$$D = \frac{k\lambda}{B \cos\theta}, \quad (2.3)$$

де *k* – стала (0.9),  $\lambda$  – довжина хвилі рентгенівського випромінювання ( $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$ ), *B* – повна кутова ширина рефлексу на половині вишини максимального з аналізованих піків (002 рефлекс при  $2\theta=34,41^\circ$ ). Він складав близько 42 нм.



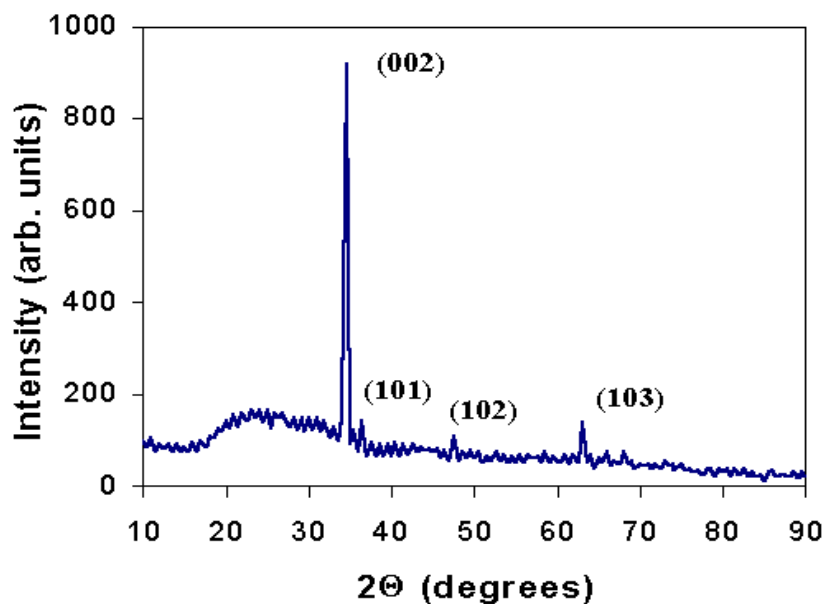


Рисунок 2.5 - Рентгенограма  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ )

Отже, параметри структури  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) є достатніми для використання її у якості транспорту квантової точки із захопленими біологічним об'єктом малого розміру.

## 2.2 Розробка структурної схеми системи

Для проведення дослідження люмінісцентних характеристик квантово-біологічної структури пропонується структурна схема, яка представлена на рисунку 2.6.

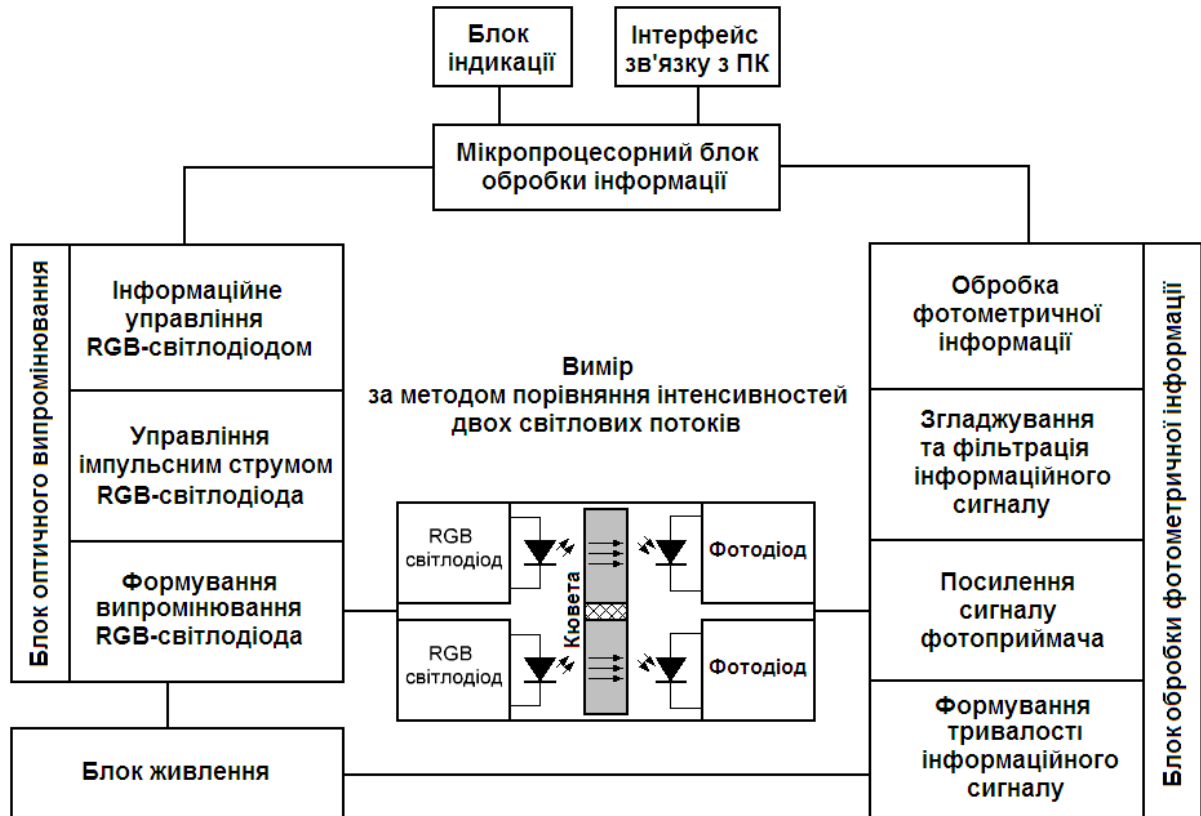


Рисунок 2.6 – Структурна схема системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

Драйвери світлодіодів (червоного, зеленого, синього) забезпечують стабільну величину ефективного значення струму через світлодіоди.

Контролер широко-імпульсної модуляції струмів світлодіодів забезпечує регулювання тривалості імпульсів струму через світлодіоди і таким чином регулює інтенсивність їх свічення.

Вузол інтерфейсу I<sup>2</sup>C служить для зв'язку з блоком мікропроцесорного управління і здійснює прийом інформації про величину струму через кожен світлодіод (про інтенсивність свічення кожного світлодіода).

До складу диференціального каналу, за допомогою якого виконується обробка фотометричної інформації, що отримується від фотометричних датчиків, входять:

- підсилювачі сигналу фотоприймачів;
- інтегратори;
- вузол контролю;

- схема автоматичного регулювання підсилення (АРП).

Підсилювачі сигналу фотоприймачів забезпечують посилення сигналу фотоприймача (фотодіода) до величини необхідною для нормальної роботи вузла контролю і інтегратора.

Інтегратори виробляють усереднення сигналів приймачів оптичного випромінювання диференціального каналу обробки інформації.

Схема АРП забезпечує неспотворену обробку сигналу диференціального каналу у всьому діапазоні вимірів приладу.

Вузол контролю виконує контроль роботи випромінювачів, фотоприймачів і трактів посилення диференціального каналу. Сигнали вузлів контролю поступають в мікропроцесорний блок обробки інформації. Це дає можливість понизити вірогідність отримання помилкових результатів вимірів.

Мікропроцесорний блок обробки інформації призначений для первинної обробки інформації, отриманої з диференціального блоку обробки фотометричної інформації. У нім виконуються виміри і розрахунки параметрів об'єкту дослідження. Блок управляє процесом зв'язку із зовнішнім персональним комп'ютером, де проводиться подальша обробка інформації. Передаючи отриману інформацію з мікропроцесорного блоку обробки інформації в блок зв'язку з персональним комп'ютером, є можливість зберегти отриману інформацію в базі даних. Це дає можливість виконувати статистичну обробку накопиченої інформації і спостерігати за динамікою процесу захворювання і лікування.

Блок індикації призначений для перетворення цифрового сигналу, який містить інформацію про той або інший параметр, у візуальну інформацію, що відображається на РКІ.

Блок зв'язку з комп'ютером забезпечує канал зв'язку з персональним комп'ютером, за допомогою якого можливий подальший аналіз отриманої інформації про результати вимірів.

## 2.3 Оптичний канал системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

### 2.3.1 Розробка світлопроміньовального каналу

Для забезпечення роботи каналу випромінювання пропонується використання RGB – світлодіода з наступними параметрами:

- потужність випромінювання не менше, 100 мВт;
- кут діаграми спрямованості випромінювання світлового потоку не більше 30°;
- робочий прямий струм кожного каналу світлодіода не більш, 50 мА.

Вище переліченим умовам задовольняє повноколірний світлодіод AAF5060PBESEEVG, що випускається фірмою Kingbright [21] і має параметри і характеристики, приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Параметри світлодіода AAF5060PBESEEVG

Параметри	Номінал
Потужність випромінювання кожного каналу світлодіода на відстані 10мм не менше, мВт	500
Основна довжина хвилі випромінювання червоного світлодіода, нм	621
Основна довжина хвилі випромінювання синього світлодіода, нм	470
Основна довжина хвилі випромінювання зеленого світлодіода, нм	525
Розширення спектральної лінії червоного світлодіода не більш, нм	20
Розширення спектральної лінії синього світлодіода не більш, нм	25
Розширення спектральної лінії зеленого світлодіода не більш, нм	38
Пряме падіння напруги на переході світлодіода при струмі $I_{пр}=20mA$ не більш, В	2,5
Максимально допустимий струм через червоний світлодіод не більш, mA	50
Максимально допустимий струм через зелений (синій) світлодіод не більш, mA	50

На рисунку 2.7 приведені основні спектри випромінювання світлодіода AAF5060PBESEEVG.

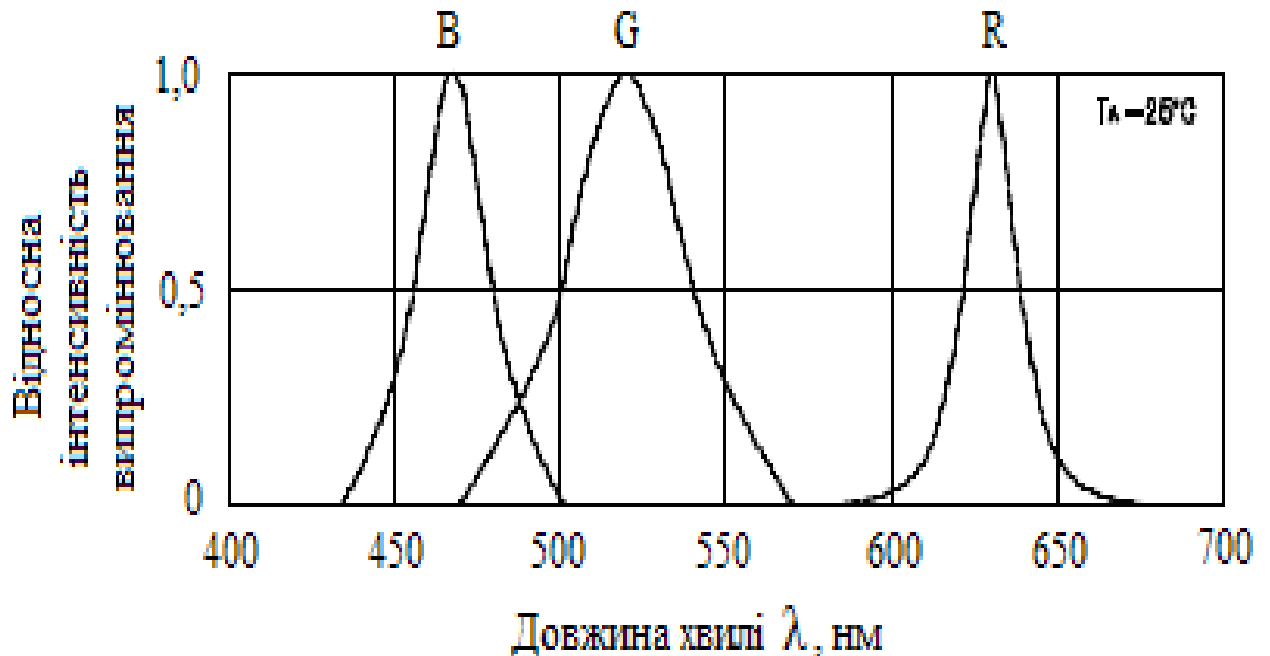


Рисунок 1.7 - Основні спектри випромінювання світлодіода AAF5060PBESEEVG

Для розрахунку динамічного діапазону регулювання середнього значення струму через світлодіод набудемо середнього значення мінімального струму ( $I_{\text{пр min}}$ ) через світлодіод рівним 5mA, а середнє значення максимального струму ( $I_{\text{пр max}}$ ) рівним 30mA. Розрахуємо динамічний діапазон зміни струму:

$$D = I_{\text{пр max}} / I_{\text{пр min}} \quad (2.4)$$

де  $I_{\text{пр max}}$  - середнє значення максимального струму через світло діод,  $I_{\text{пр.min}}$  - середнє значення мінімального струму через світло діод,  $D=30\text{mA}/5\text{mA}=6$ .

На рисунку 2.8 приведена електрична схема для управління RGB – світлодіодом з елементами обв'язування.

Частота коливань перетворювача DC/DC контролера визначається по формулі:

$$f_{\text{ААі}} = \frac{1}{1,4RC}, \quad (2.5)$$

де  $R$  – опір кола, що задає час;  $C$  – ємність конденсаторів кола, що задає час.

Розрахуємо величину конденсаторів перетворювача  $C1$  и  $C2$ , що задають час:

$$C = \frac{1}{1,4Rf_{\text{ААі}}} \quad (2.6)$$

$$C = 0,7 / (250\text{Ом} \times 3\text{кГц}) = 0,933 \text{ мФ}$$

Конденсатори, що задають час, є конденсаторами планарного виконання ємністю  $1\text{мкФ}$  типу  $C1206 - 60\text{В} - 1\text{мкф} \pm 10\%$ . Конденсатор вольтодобавки планарного виконання ємністю  $1\text{мкФ}$  типу  $C1206 - 60\text{В} - 1\text{мкф} \pm 10\%$  згідно рекомендації фірми – виробника інтегральної схеми.

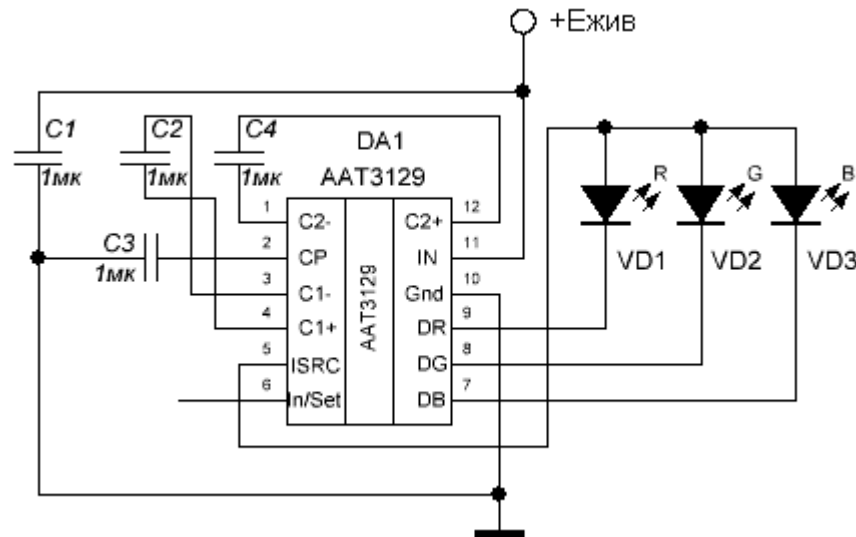


Рисунок 2.8 - Електрична схема для управління RGB – світлодіодом

Схема попереднього підсилювача пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації приведена на рисунку 2.9.

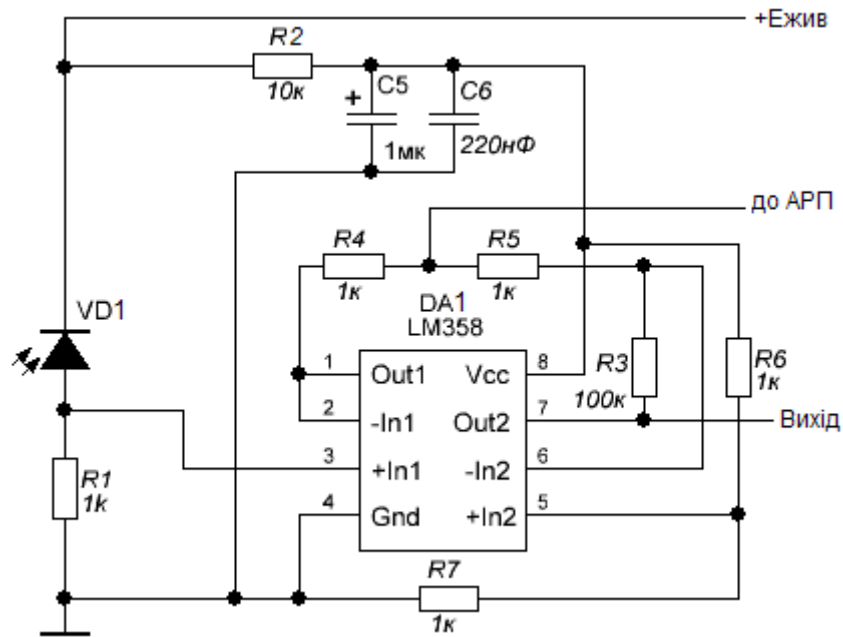


Рисунок 2.9 - Схема електрична принципова попереднього підсилювача

### 2.3.2 Розробка каналу реєстрації сигналу люмінесценції

Для реалізації попереднього підсилювача сигналу фотоприймача застосуємо широко поширений операційний підсилювач LM358 (мікросхема DA1). Основні параметри LM358 приведені в таблиці 2.3.

Виходячи з того, що напруга сигналу фотодіода, складає приблизно 60 мВ, а величина вихідного напруга сигналу має бути не менше 5 В розрахуємо необхідний коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача.

$$K_{\text{поп.підс.}} = U_{\text{вих}} / U_{\text{фд}}, \quad (2.7)$$

де  $U_{\text{вих}}$  – вихідна напруга сигналу;  $U_{\text{фд}}$  – напруга на виході фотодіода.

Таблиця 2.3 - Основні технічні характеристики мікросхеми LM358

Найменування параметра	Номінал
Напруга живлення не більше, В	$\pm(3-32)$
Напруга зсуву не більше, мВ	2
Вхідний струм не більше, нА	5
Коефіцієнт підсилення не менше, дБ	100 (100000 разів)
Коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу не менше, дБ	70
Вхідний опір не менше, кОм	100
Вихідний опір не більше, кОм	1
Гранична частота підсилення, не менше МГц	1
Споживана потужність не більше, мВт	30
Діапазон робочих температур, °С	0 ... +80

$$K_{\text{поп.підс.}} = 5 / 0,06 = 83,3.$$

Для забезпечення запасу по коефіцієнту посилення попереднього підсилювача приймаємо коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача рівний 100.

Для нормальної роботи схеми фотодіода, що має високий вихідний опір необхідно аби вхідний опір схеми попереднього підсилювача був багато більше вихідного опору фотодіода. Для того, щоб отримати високий вхідний опір попереднього підсилювача, використовуємо схему включення операційного підсилювача DA1.1 в режимі не інвертуючого підсилювача охопленого 100% зворотним зв'язком (повторювач сигналу).

Розрахуємо вхідний опір:

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{вх ОП}} (1 + \beta K_{\text{ОП}}), \quad (2.8)$$

де  $R_{\text{вх ОП}}$  – вхідний опір ОП;  $\beta = 1$ ,  $K_{\text{ОП}} = 100000$ .

$$R_{\text{вх}} = 100\text{кОм} (1 + 1 \times 100000) = 1 \times 10^4 \text{МОм}$$



Вхідний опір такої величини практично не досяжний, оскільки обмежується величиною опору витоків печатних плат. Проте можна відзначити, що умова узгодження вихідного опору фотодіода і вхідного опору попереднього підсилювача виконані. Для того, щоб привести потенціал на вході операційного підсилювача DA1.1 до потенціалу загального дроту і тим самим збалансувати операційний підсилювач, встановлено резистор R1, величина якого дорівнює 1кОм. Таким чином, вхідний опір ланки, виконаної на операційному підсилювачі DA1.1, дорівнює 1 кОм.

Розрахуємо вихідний опір ланки, що виконана на операційному підсилювачі DA1.1.

$$R_{\text{вих}} = \frac{R_{\text{вих.ОП}}}{1 + \beta K_{\text{ОП}}} \quad (2.9)$$

Для отримання номінальної вихідної напруги розрахуємо величини резисторів встановлюваних в колах інвертуючого операційного підсилювача DA1.2 для отримання необхідного коефіцієнта підсилення. Приймаємо, що для узгодження вхідних і вихідних опорів ланок, виконаних на операційних підсилювачах DA1.1 і DA1.2, необхідно, аби ланка, виконана на підсилювачі DA1.2, мала величину вхідного опору рівну 1кОм. На підставі цього:

$$R2 = R4 = R_{\text{вх}} = 1\text{кОм}. \quad (2.10)$$

Для забезпечення необхідного коефіцієнта підсилення (100 разів) розрахуємо величину резистора зворотного зв'язку R5.

$$R3 = R2 K_{\text{пос}} \quad (2.11)$$

$$R3 = 1 \text{ кОм} \times 100 = 100\text{кОм}$$

Розрахуємо вихідний опір схеми інвертуючого операційного підсилювача на DA1.2.

$$R_{\text{вих}} = \frac{R_{\text{вих.ОП}}}{1 + \beta K_{\text{ОП}}} \quad (2.12)$$

$$R_{\text{вих}} = 1000 / (1 + 300) = 3 \text{ Ом}$$

Така величина вихідного опору достатня, для того, щоб розроблена схема забезпечувала узгодження з вузлами пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації.

## 2.4 Модель удосконалення оптичної системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

### 2.4.1 Реєстрація оптичного сигналу SiPM фотопомножувачем

Як видно із отриманих результатів, система реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури може бути реалізована на доступній елементній базі. Але, із розвитком технологій створення нових поколінь фотоелектричних помножувачів виникає необхідність розглянути шляхи удосконалення такої системи.

У роботі було досліджено можливий варіант створення більш ефективної системи випромінювач – реєстрація.

Актуальним напрямом поліпшення фотоприймачів із внутрішнім посиленням є використання р-п переходу, працюючого при напрузі вище пробивного, тобто, у режимі гейгерівського розряду. Такі пристрої, названі лавинними однофотонними фотодіодами (Single Photon Avalanche Diode, SPAD), здатні реєструвати одиночні фотони з високою ефективністю [22]. У гейгерівському режимі роботи сигнал від одного фотона, що надходить на 50-омне навантаження, може становити кілька вольт. Для реєстрації наступного фотона необхідно погасити лавину, що утворилася, причому для запобігання деградації параметрів фотодетектора відновлення вихідного стану після реєстрації фотона необхідно виконати максимально швидко. Найчастіше гейгерівський розряд гаситься за допомогою резистора (пасивне гасіння) або електронних схем гасіння лавини та відновлення робочої

напруги на р-п переході (активне гасіння). Недолік SPAD – фіксована амплітуда вихідного сигналу, незалежна від величини зовнішнього впливу, нечутливість детектора до зовнішнього впливу під час спрацьовування і по моменту відновлення, висока величина темного струму, прямо пропорційна площі р-п переходу [22].

Зазначені недоліки SPAD більшою мірою усунуті в кремнієвому фотопомножувачі (SiPM; інші назви – багатопіксельний лічильник фотонів, мікропіксельний лавинний фотодіод). Він є фотоприймачем, що містить на одній кремнієвій підкладці матрицю осередків, кожна з яких включає SPAD і резистор з опором від 0,2 до 2 МОм (рисунок 2.10) [22]. SiPM містить від сотень до десятків тисяч паралельно з'єднаних осередків з розміром сторін від одиниць до десятків мікрометрів та 2 зовнішніх виводів, за допомогою яких встановлюється напруга зміщення та знімається струмовий сигнал. Напруга всіх осередків однакова і кілька вольт перевищує напруга пробою р-п переходу ( $V_{BR}$ ). Деякі конструкції осередків показані малюнки 9, 10 [23].

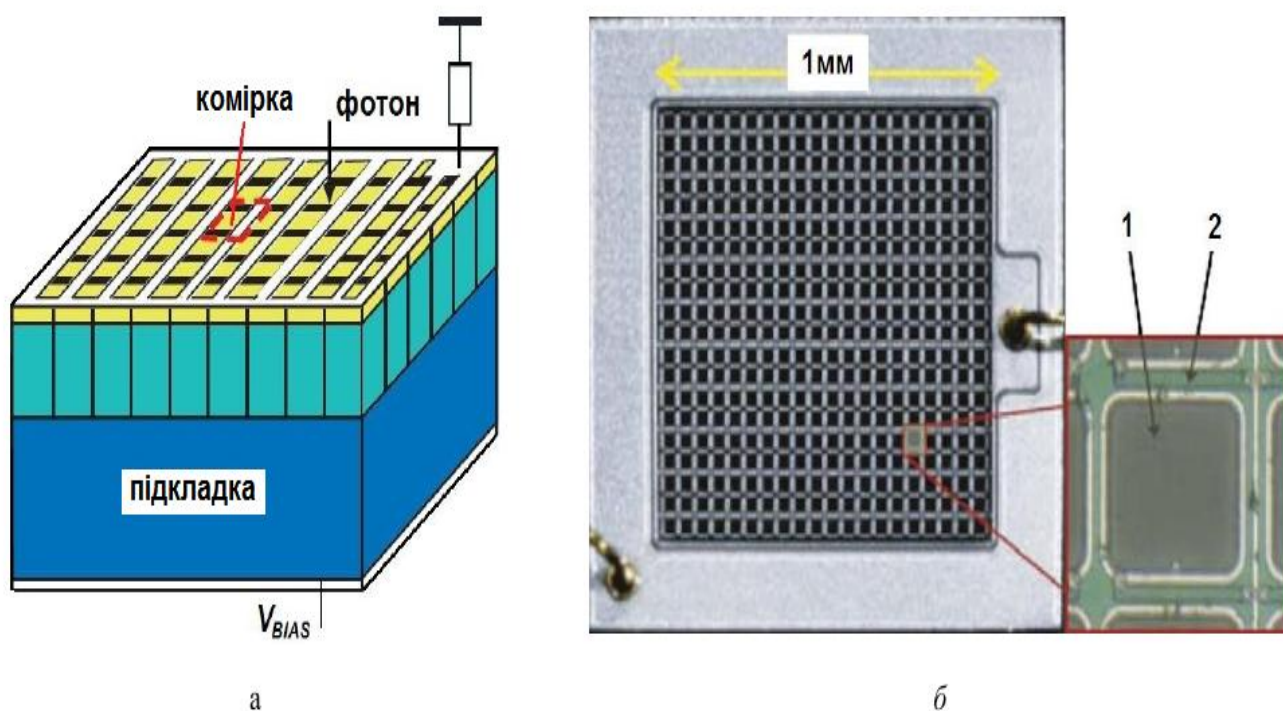


Рисунок 2.10 – Конструкція SiPM: а – спрощений вигляд [22]; б – фотографія кристала та окремого осередку [23]; 1 – лавинний фотодіод; 2 – резистор, що гасить

Зазначимо такі особливості конструкції та параметрів [22]:

- коефіцієнт заповнення залежить від розмірів комірки та її топології, знижується з зменшенням розміру осередку та становить від 30 до 80 % для осередків з розміром від  $30 \times 30$  до  $100 \times 100$  мкм;

- на відміну від APD коефіцієнт посилення SiPM майже лінійно залежить від перевищення напруги пробою [23 - 25], тому вимоги до стабільності напруги усунення SiPM менш жорсткі;

- технологічний розкид коефіцієнта посилення, обумовлений розкидом ємності осередку і пробивної напруги, зазвичай не перевищує 10% і може бути компенсований підстроюванням величини напруги зміщення.

Технологічна реалізація SiPM комірки із різними типами резисторів, які гасять, представлена на рисунках 2.11 та 2.12.

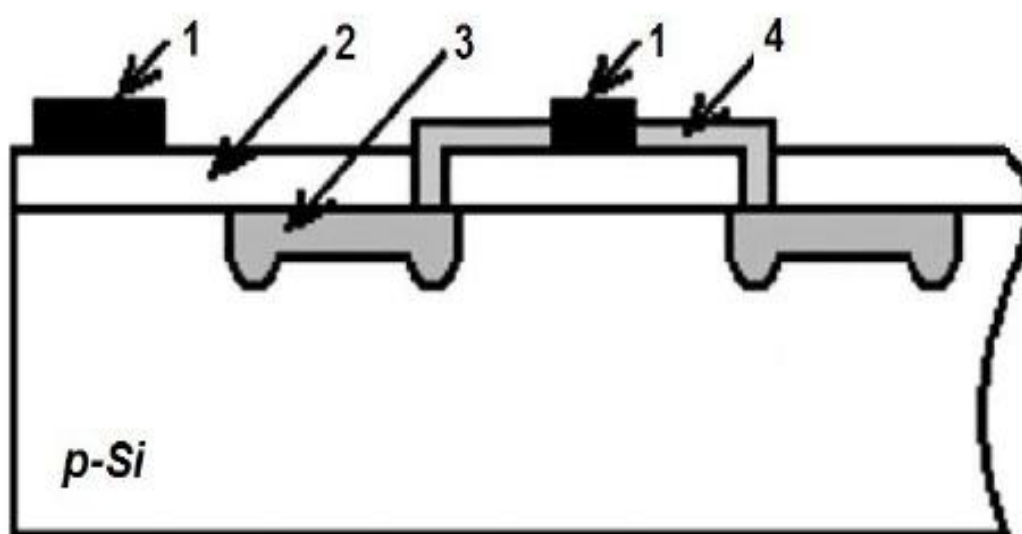


Рисунок 2.11 – Конструкція комірки SiPM із плівковим резистором, який гасить: 1 – металічний електрод; 2 – оксид кремнію; p – n – перехід комірки; 4 – резистор, який гасить

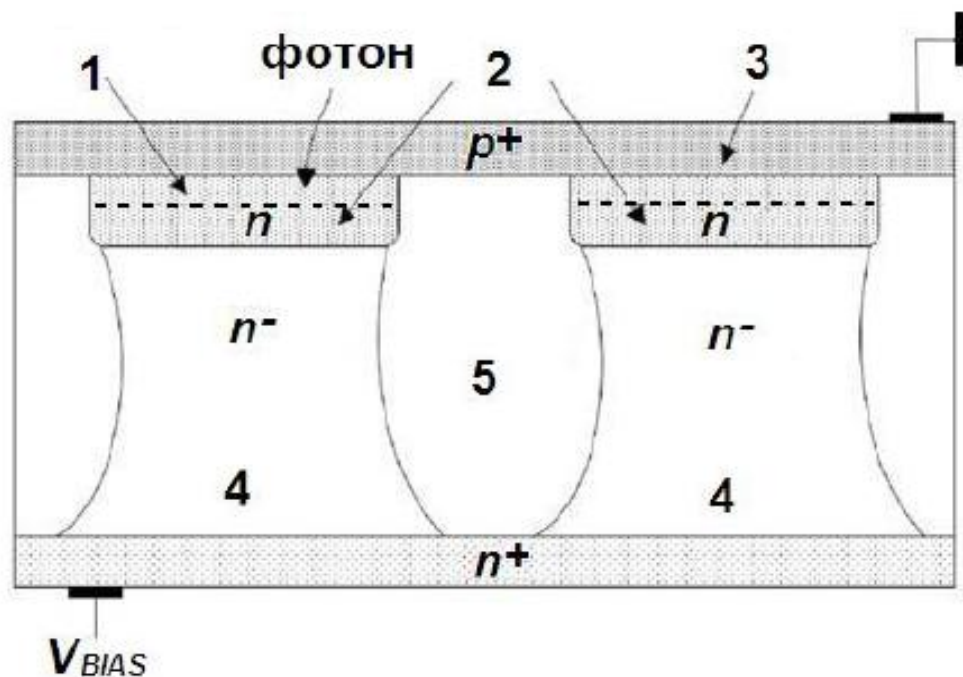


Рисунок 2.12 - Конструкція комірки SiPM із напівпровідниковим резистором, який гасить: 1 – область просторового заряду (ОПЗ); 2 – катоди; 3 – загальний анод; 4 - резистор, який гасить; 5 – ізоляція.

#### 2.4.2 Керування роботою SiPM фотодетекторами

Прикладом спеціалізованої ІС (рисунок 2.13), яка дає можливість здійснити керування SiPM фотодетекторами є мікросхема SPIROC (SiPM Integrated Read-Out Chip) [26], яка призначена для зчитування струмового сигналу 36 паралельними каналами, визначення моменту досягнення ним максимуму по кожному з каналів без використання сигналів зовнішньої синхронізації, зберігання, оцифрування сигналів та передачі даних для подальшої обробки.

ІС містить частину схеми, що задає робочий режим фотодетектора, а саме 36- канальний мікропотужний 8-розрядний ЦАП, за допомогою якого

змінюється потенціал сигнального входу, що підключається безпосередньо до SiPM без роздільного конденсатора.

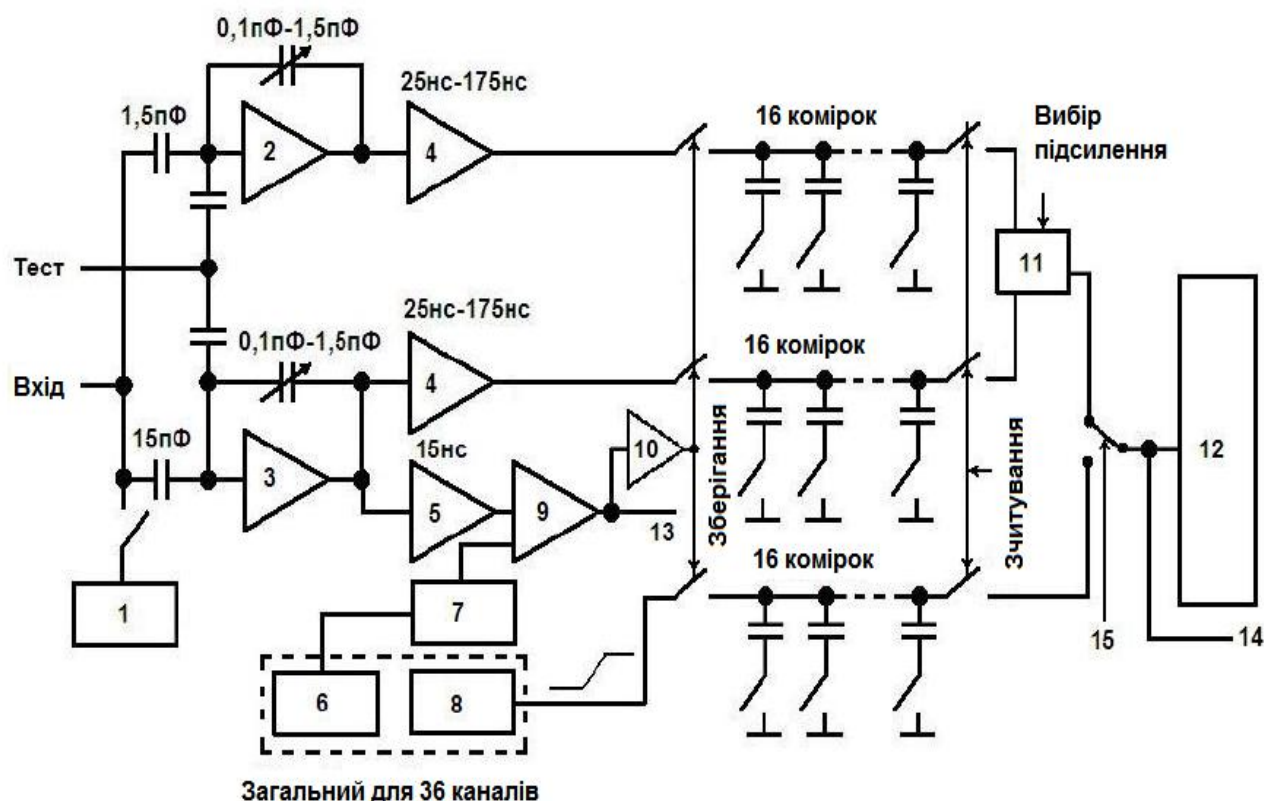


Рисунок 2.13 – Спрощена схема спеціалізованої IC SPIROC [26]: 1 - 36-канальний 8-розрядний цифро-аналоговий перетворювач; 2 - зарядочутливий підсилювач з «малим» посиленням; 3 – зарядочутливий підсилювач із «великим» посиленням; 4 – «повільний» підсилювач формувач; 5 – «швидкий» підсилювач-формувач; 6 – одноканальний 10-розрядний цифроаналоговий перетворювач для встановлення порога всіх каналів; 7 – 4-розрядний пристрій підстроювання порога кожного каналу; 8 – генератор пилкоподібної напруги з тривалістю «пили» від 0,3 до 5 мкс; 9 – дискримінатор; 10 - елемент із змінною затримкою; 11 – блок вибору посилення; 12 - 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач Вілкінсона;

13 - вихід синхросигналу; 14 – аналоговий вихід; 15 -керуючий сигнал генератора пилкоподібної напруги

Вихідна напруга ЦАП регулюється в діапазоні від 0,5 до 4,5, що дозволяє налаштувати величину VBIAS для зменшення технологічного розкиду посилення фотодетекторів, з'єднаних з різними входами ІС.

Необхідний динамічний діапазон оброблюваних сигналів SiPM величиною від 1 до 2000 фотоелектронів забезпечується парою зарядочутливих підсилювачів (ЗЧП), що підключаються паралельно до кожного входу ІС через інтегральні конденсатори різного номіналу: 1,5 пФ для ЗЧУ з малим посиленням і 15 пФ для ЗЧУ з великим. Кожен ЗЧП також має ступінчасте регулювання посилення за рахунок підключення ООС конденсаторів величиною від 0,1 до 1,5 пФ. До виходів ЗЧП підключений «повільний» УФ типу CR-RC2, час піку якого регулюється в межах від 25 до 175 нс, і аналоговий пристрій (АП) глибиною 16 осередків для зберігання миттєвих значень вихідного сигналу УФ.

Кожен канал має незалежну схему реєстрації моменту надходження вхідного імпульсу, що включає «швидкий» УФ з часом піку близько 15 нс, дискримінатор з 4-розрядним підстроюванням порога спрацьовування, аналогове ЗУ глибиною 16 осередків, допоміжні схеми керування та комутації сигналів. До системи реєстрації моменту надходження вхідних імпульсів відносяться також генератор пилкоподібної напруги та один 10-розрядний ЦАП для встановлення загального порога всіх дискримінаторів.

Перетворення сигналів, що зберігаються в аналогових ЗУ, цифрову форму виконується за допомогою 36-канального 12-розрядного аналого-цифрового перетворювача, виконаного за схемою Вілкінсона і обробляє сигнали, що надходять за цикл в 100 мкс.

ІС виконана за SiGe-технологією фірми AMS з проектною нормою 0,35 мкм і характеризується такими основними параметрами:



- для виходу «швидкого» УФ: коефіцієнт перетворення – 120 мВ/фотоелектрон, час піку – 15 нс, відношення сигнал/шум – 24. Такі параметри дозволяють встановити поріг спрацьовування дискримінатора лише на рівні 0,5 фотоелектрона;

- для виходу «повільного» УФ у режимі максимального посилення при часі піку 100 нс коефіцієнт перетворення становить 10 мВ/фотоелектрон, відношення сигнал/шум – 11 (3 для режиму мінімального посилення);

- нелінійність перетворення вхідний заряд - вихідна напруга менше 1% динамічному діапазоні вхідних сигналів до 60 дБ;

- напруга живлення аналогової частини - 5 В, цифровий - 3,5 В;

- розмір кристала - 7,2×4,2 мм;

- максимальна потужність, що розсіюється, залежить від режиму роботи і становить 25 мкВт/канал.

## 2.5 Моделювання роботи функціональних блоків системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

Для встановлення правильності проведених розрахунків в роботі було проведено моделювання основних функціональних блоків системи: електричної схеми для управління RGB – світлодіодом, схеми попереднього підсилювача.

Моделювання блоків проводилось за допомогою редактора САПР електронних схем Proteus.

На рисунках 2.14 та 2.15 представлено інтерфейс програмного середовища, у якому виканано моделювання схем.

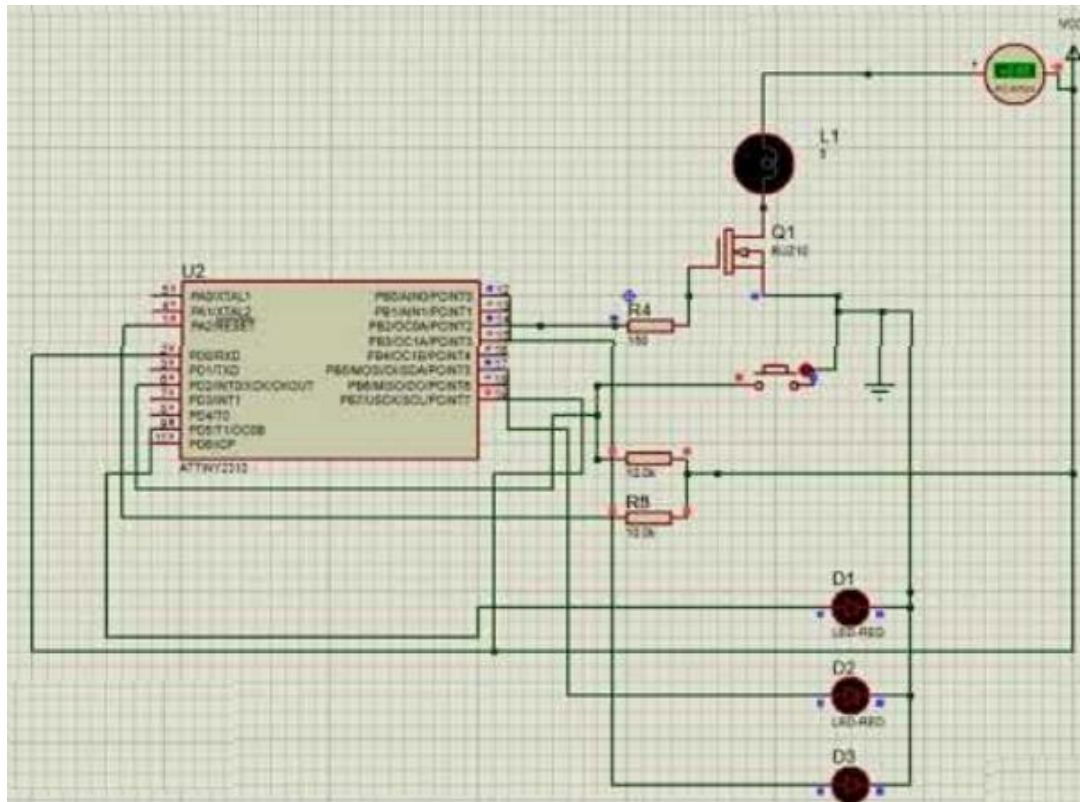


Рисунок 2.14 – Схема для управління RGB – світлодіодом у програмному середовищі Proteus

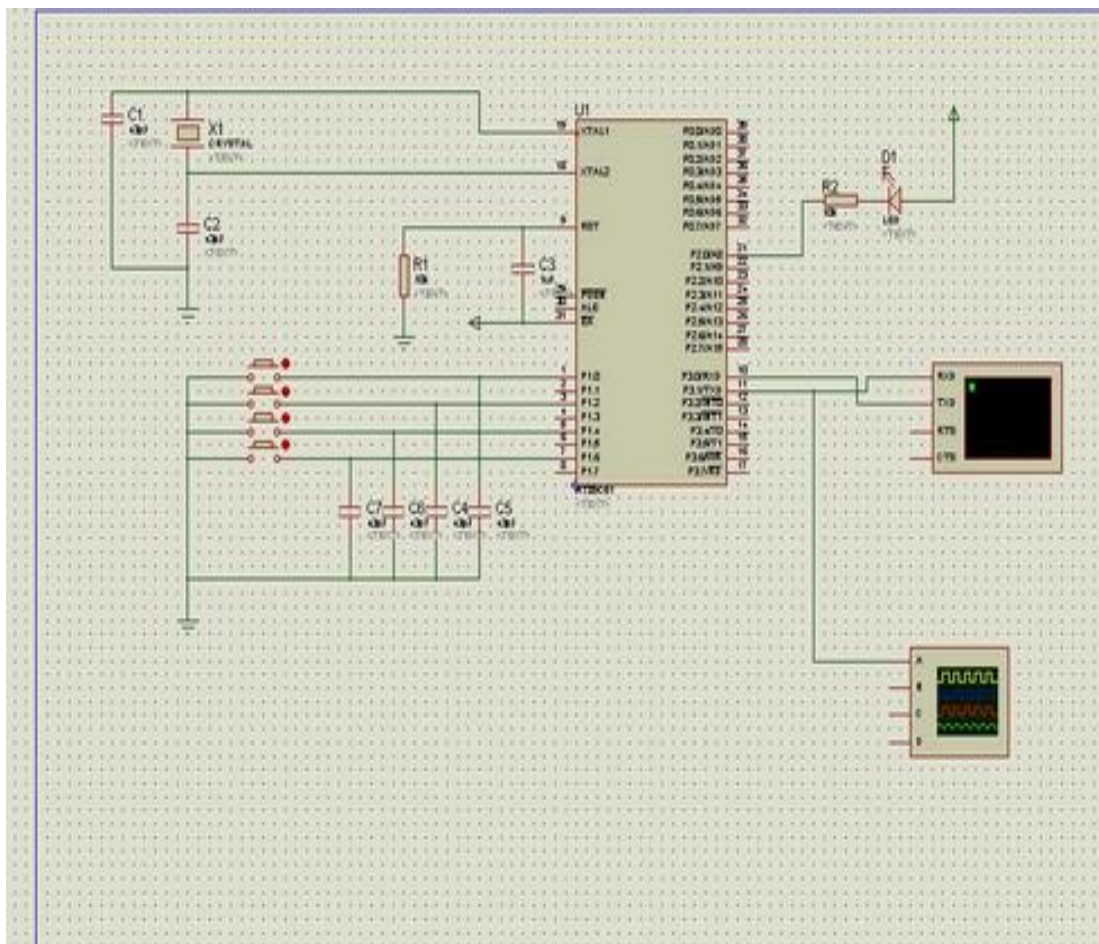


Рисунок 2.15 - Схема попереднього підсилювача у програмному середовищі Proteus

На рисунках 2.16 та 2.17 представлено результати вимірювань електричних параметрів функціональних блоків системи

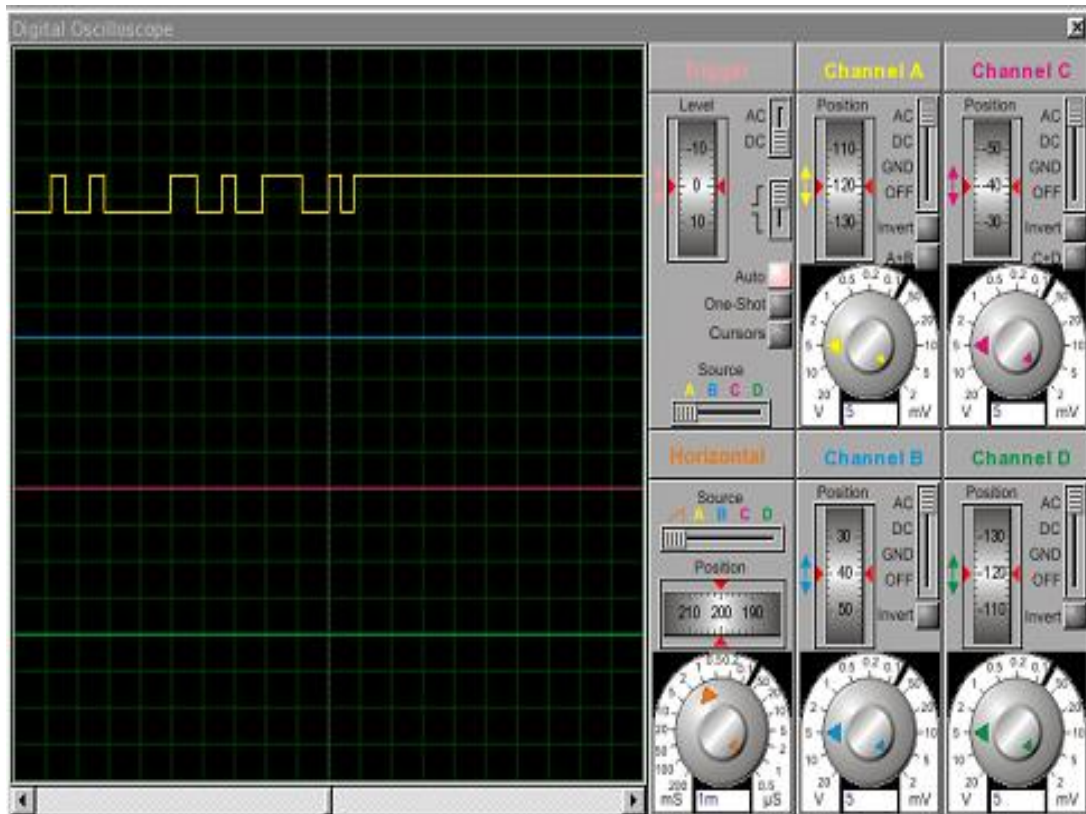


Рисунок 2.16 – Діаграми функціонування схеми управління RGB – світлодіодом у програмному середовищі Proteus

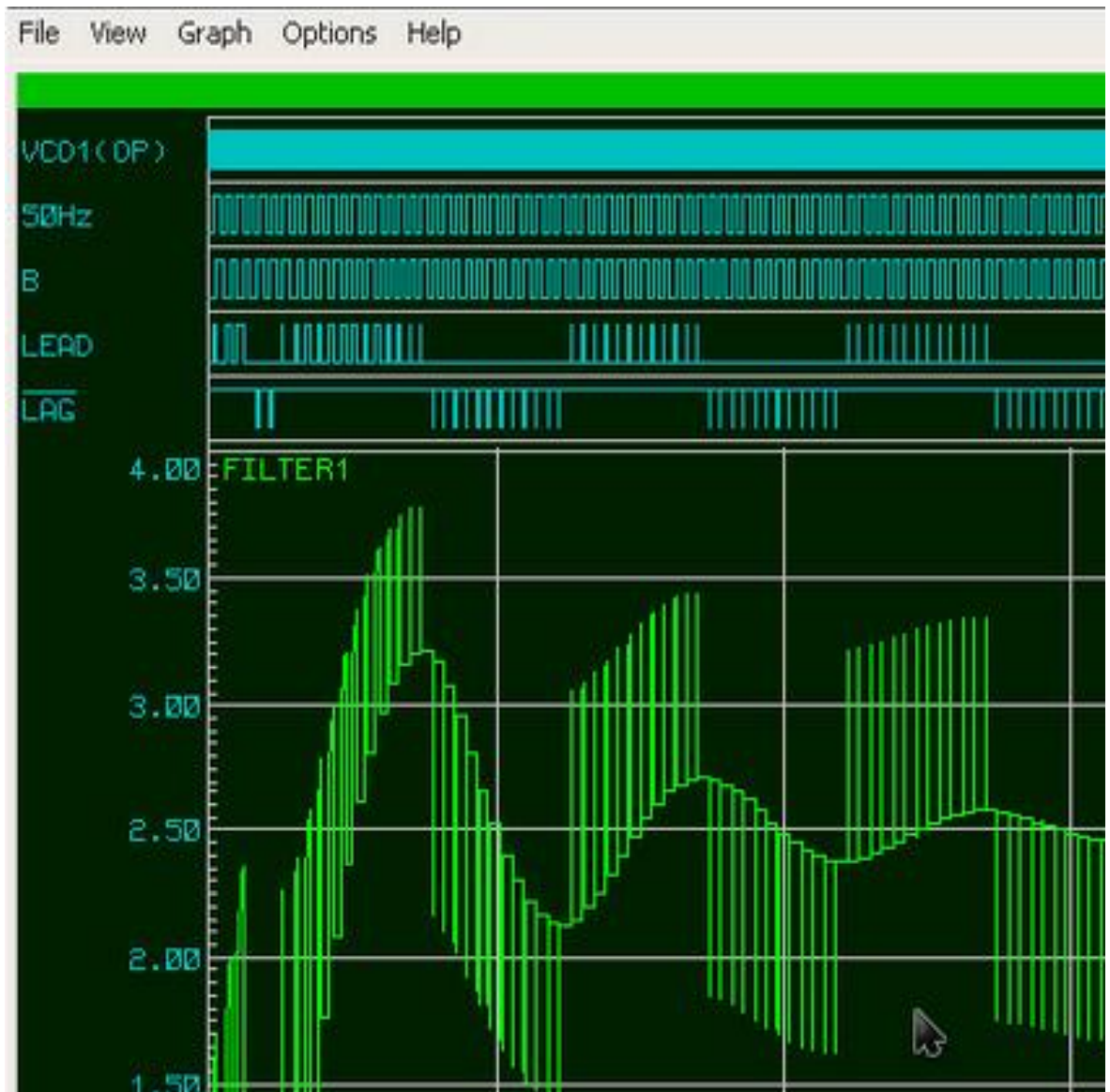


Рисунок 2.17 - Діаграми функціонування схеми попереднього підсилювача у програмному середовищі Proteus

На діграмі чітко видно, що інформаційний сигнал має структуру подвійних логічних станів, що підтверджує теоретичні розрахунки, представлені у п. 2.2.

Як слідує із результатів, представлених на рисунках 2.16 та 2.17, основні параметри системи, які були розраховані аналітично, добре узгоджуються із результатами моделювання.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) у роботі запропоновано у якості наноматриці для формування квантових точок (КТ) використати структуру  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ), яку було отримано за допомогою метода пульверизації із наступною термічною обробкою;

2) параметри структури  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) є достатніми для використання її у якості транспорту квантової точки із захопленими біологічним об'єктом малого розміру;

3) для проведення дослідження люмінісцентних характеристик квантово-біологічної структури пропонується структурна схема на основі напівпровідникових фотодіодів та фотоелектронних помножувачів;

4) для забезпечення роботи каналу випромінювання пропонується використання RGB – світлодіода типу AAF5060PBESEEVG, що випускається фірмою Kingbright;

5) для реалізації попереднього підсилювача сигналу фотоприймача застосуємо широко поширений операційний підсилювач LM358;

6) у роботі було досліджено можливий варіант створення більш ефективної системи випромінювач – реєстрація на основі SiPM фотодетекторів, що керуються мікросхемою SPIROC;

7) розраховані показники параметрів функціональних блоків пристрою добре узгоджуються із результатами моделювання в середовищі Proteus.

### 3 Техніко – економічне обґрунтування виготовлення електронних схем системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

#### 3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікроборок. Але у відмінності від стандартної технології у гібридного виконання всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення електронних схем системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [27].

Таблиця 3.1 – Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Напівпровідникових інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані на поверхні та в об'ємі загального кристала напівпровідника
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [27].

Таблиця 3.2 – Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження



Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	$X_i$
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
$\Sigma$							9,033	1,00

У матриці прийняті наступні позначення:  $i$  – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3)  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ;  $X_i$  – локальний пріоритет, тобто відносна вага  $i$ -го критерію в глобальному критерії:

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 – 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то  $i = 1, 2, 3, 4$ .

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де  $\Sigma$  - сума по стовпці  $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$ .

Таблиця 3.4 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	1/5	3	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
	Σ				6,07	1,00

Таблиця 3.5 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
	Σ				5,37	1,00

Таблиця 3.6 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
	$\Sigma$				6,41	1,00

Таблиця 3.7 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
	$\Sigma$				4,73	1,00

Таблиця 3.8 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
	$\Sigma$				5,88	1,00

Таблиця 3.9 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10).[27]

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта виготовлення електронної схеми пристрою з використанням технології тонкоплівкових гібридних мікрозборок

Таблиця 3.10 – Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Напівпровідникових інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох типів технологій виготовлення електронних схем пристрою за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) заводостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології напівпровідникових інтегральних схем. Проте найбільший глобальний пріоритет має технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок. Саме вона й буде використовуватися для виготовлення електронних схем системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури.

### 3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

Витрати на матеріали і напівфабрикати, вказані в таблиці 3.11, склали 684,20 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості основних покупних виробів

Матеріали і напівфабрикати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів і напівфабрикатів, грн.
Алюміній	кг	0,1	120	12,0
Кремній	кг	0,1	300	30,0
Конденсатор	шт.	3	20	60
Резистор	шт.	10	120	120
Індуктивність	шт.	2	21,1	42,2
Світлодіод	шт.	3	60	180,0
ІМС типу LTC3588	шт	2	120	240
Разом				684,20

## 4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Розробка збирача вторинної енергії виконувалось на персональних ЕОМ, що знаходяться у лабораторному приміщенні, де можливі такі фізичні небезпечні та шкідливі фактори: поганий мікроклімат приміщення: підвищена і знижена температура повітря; надмірна запиленість повітря; підвищена і знижена вологість повітря; недостатня освітленість робочого місця; шум; підвищений рівень іонізуючого випромінювання; підвищений рівень електромагнітних полів; підвищений рівень статичної електрики; небезпека ураження електричним струмом; бляклість екрану дисплея; Біологічні та хімічні шкідливі і небезпечні виробничі фактори при роботі в лабораторному приміщенні відсутні. До психофізичних факторів належать: розумова перенапруга, нервозність, монотонність праці.

Об'єм приміщення, не повинен бути менше  $19,5 \text{ м}^3/\text{людину}$  з урахуванням максимального числа одночасно працюючих.

Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані комп'ютери, приведені в табл. 4.1.

ЕОМ являє собою джерело електромагнітних і електростатичних полів, а також і рентгенівських випромінювань [28]. Електромагнітні поля, що характеризують напруженість електричних і магнітних полів шкідливо впливають на організм людини. Основним джерелом цих проблем, є дисплеї (монітори), особливо дисплеї з електронно-променевими трубками. Вони являють собою джерела найбільш шкідливих випромінювань, що

несприятливо впливають на здоров'я людини. Електромагнітне поле має електричну і магнітну складову. Вважається, що магнітна складова викликає більш негативну реакцію, ніж електрична.

Таблиця 4.1 – Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані ЕОМ

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата подаваного в приміщення свіжого повітря, м <sup>3</sup> /на одну людину в годину
об'єм до 20 м <sup>3</sup> на людину	не менш 30
об'єм до 40 м <sup>3</sup> на людину	не менш 20
об'єм більш 40 м <sup>3</sup> на людину	природна вентиляція

ЕОМ є джерелами таких випромінювань як:

- м'якого рентгенівського; ультрафіолетового 200 – 400 нм;
- видимого 400 – 00 нм;
- ближнього інфрачервоного 700 – 050 нм;
- радіочастотного 3 кГц – 30 МГц;
- електростатичних полів.

При експлуатації монітор комп'ютера випромінює м'яке рентгенівське випромінювання. Небезпека цього виду випромінювання пов'язана з його здатністю проникати в тіло людини на глибину 1–2 см і вражати поверхневий шкірний покрив.

Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці біля комп'ютера зазвичай не перевищує 10 мкбер / год., а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань від екрану монітора знаходиться в межах 10 ... 100 мВт/м<sup>2</sup>.

Ультрафіолетове випромінювання у великих дозах призводить до дерматиту шкіри, головний біль, різі в очах.

Інфрачервоне випромінювання призводить до перегріву тканин людини (особливо кристалика ока), підвищення температури тіла.

Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більше 20 кВ/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500В.

Також може виникнути небезпека за рівнями напруженості електромагнітного поля. На відстані 5–10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м за електричною складовою, що значно перевищує допустимі значення. Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора представлені в табл. 4.2 [28].

Таблиця 4.2 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Параметри	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітора	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітора	0.3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перебільшувати : для дорослих користувачів	20 кВ/м
для навчальних закладів	15 кВ/м

Персональні комп'ютери, друкуючі пристрої, обладнання для кондиціонування повітря, вентилятори систем охолодження і трансформатори в самих ПК є також джерелами шумів та вібрацій. У лабораторних приміщеннях освітніх установ, де розташовані ПК, рівні шуму



та вібрації не повинні перевищувати допустимих значень, установлених діючими санітарно – епідеміологічними нормативами для житлових і громадських будівель.

Тривала дія шуму високої інтенсивності (вище 80 дБ) призводить до патологій слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу веде до виробничих помилок.

Рівень шуму на робочому місці, при роботі за комп'ютером, не повинен перевищувати 50 дБ, а при наявності друкуючого пристрою не більш 75дБ.

Вібрація може викликати деякі професійні захворювання, при яких змінюються фізіологічні та психічні функції організму.

Т.ч., у лабораторному приміщенні при дослідницькій роботі на ЕОМ на людину впливають різні виробничі фактори, які в основному негативно впливають на її здоров'я і можуть викликати професійні захворювання [29].

#### 4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Оскільки екран монітора – це також джерело світла, при постійному зчитуванні інформації з нього відбувається швидке стомлення очей, особливо якщо яскравість свічення монітора встановлена занадто високою. Також подразнення очей викликає мерехтіння зображення на моніторі, викликані низькою частотою кадрової розгортки.

З метою зниження мерехтіння екрану рекомендується встановлювати частоту кадрів не менше 75 Гц для ЕЛТ – моніторів, та для ЖК – моніторів достатньою є мінімальна частота кадрів у 60 Гц.

Оскільки монітор ЕОМ є джерелом випромінювання електромагнітних та електростатичних полів, то при підвищеному рівні напруженості цих полів слід скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви протягом півтора годин роботи, обов'язково застосовувати захисні екрани, не розміщувати їх концентровано в робочій зоні і вимикати їх, якщо на них не працюють.

Для безпечної роботи на ПК необхідно перебувати на відстані не менше 50 см від екрана дисплея. Для зниження впливу всіх видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованого режиму праці та відпочинку. Разом з цим, потрібно встановлювати у лабораторному приміщенні, де знаходиться комп'ютер, іонізатори повітря, частіше провітрювати приміщення і хоча б один раз протягом робочого дня очищати екран від пилу.

Для запобігання утворення та захисту від статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори та зволожувачі, а підлоги повинні мати антистатичне покриття. Допустимі рівні напруженості електростатичних полів не повинні перевищувати 20 кВ протягом 1 години.

Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути фанеровані звукопоглинальними матеріалами, а також використовуються різні звукопоглинаючі пристрої. Зниження шуму в джерелі випромінювання можливо забезпечити застосуванням м'яких килимків з синтетичних матеріалів, а під ніжками столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми завтовшки 6-8 мм. До засобів індивідуального захисту відносяться протишумні навушники.

Рівень вібрації у лабораторному приміщенні може бути знижений шляхом встановлення устаткування на спеціальні віброізолятори. Раціональне планування приміщення і організація робочого місця, правильне розміщення обладнання також є важливим фактором, що дозволяє знизити шум і вібрацію.

Т. ч., для безпечної роботи людини, лабораторне приміщення, де знаходяться ЕОМ, повинно відповідати діючим санітарно – епідеміологічним нормам [28].

#### 4.3 Виробнича санітарія

Так як, робота з розробки датчика відбувається у лабораторному приміщенні, тому освітлення має наближатися до оптимальних умов зорового сонячного освітлення. Лабораторні приміщення, де розташовані комп'ютери повинні мати і природне і штучне освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але і в світлий час доби. Природне освітлення повинно здійснюватися через світлопроєми, орієнтовані переважно на північ і північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1.2% у зонах зі стійким сніжним покривом і 1.5% на решті території. Штучне освітлення у лабораторних приміщеннях експлуатації комп'ютерів повинно здійснюватися системою загального рівномірного освітлення. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типа ЛБ, або ДРЛ, які попарно об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями. Обмежити відображену бляклість на робочих поверхнях можна за рахунок правильного вибору типів світильників і розташування робочих місць по відношенню до джерел природного та штучного освітлення, при цьому яскравість відблисків на екрані не повинна перевищувати 40 кд/кв.м. і яскравість потоку, при зміні системи відбитого освітлення, не повинна перевищувати 200 кд/кв.м.

Вимоги до освітленості у лабораторних приміщеннях, де встановлені комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності становлять 200 лк і 300 лк

відповідно. При цьому монітор і джерела світла повинні бути розташовані т. ч., щоб не створювати бліків на поверхні екрана. Крім того, все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога. Тому ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими, оскільки яскраве світло в районі периферійного зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності.

Одним із основних небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину під час роботи у лабораторному приміщенні є мікроклімат. ЕОМ є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні. На робочому місці користувача комп'ютеру повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до санітарно – епідеміологічних норм. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення.

Для створення і підтримки оптимального мікроклімату у лабораторному приміщенні, незалежно від зовнішніх умов у холодну пору року використовується водяне опалення, а в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер, за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища.

У приміщеннях з надлишком тепла необхідно передбачати регулювання подачі теплоносія для дотримання нормативних параметрів мікроклімату.

Так, оптимальна температура повітря у лабораторному приміщенні в теплу пору року повинна становити  $+22^{\circ}\text{C}$  ...  $+24^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість – 40...60%, атмосферний тиск – 750 мм.рт.ст., швидкість руху повітря – 0,1 м/с.

Параметри мікроклімату для лабораторного приміщення з ЕОМ наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3– Параметри мікроклімату для лабораторного приміщення з ЕОМ

Пора року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодна	температура повітря в приміщенні	22 – 24 °С
	відносна вологість	40 – 60 %
	швидкість руху повітря	до 0,1 м/с
Тепла	температура повітря в приміщенні	23 – 25 °С
	відносна вологість	40 – 60 %
	швидкість руху повітря	0,1 – 0,2 м/с

Повітря, що надходить у лабораторне приміщення, де розташовані ПК, повинно бути очищене від забруднень, в тому числі від пилу і мікроорганізмів. Патогенної мікрофлори бути не повинно. Кондиціонування повітря має забезпечувати підтримання параметрів мікроклімату в необхідних межах протягом всіх сезонів року, очищення повітря від пилу і шкідливих речовин, створення необхідного надлишкового тиску в чистих приміщеннях для виключення надходження неочищеного повітря. Температура подаваного повітря повинна бути не нижче 19°С. Температуру в приміщенні слід регулювати з урахуванням теплових потоків від обладнання.

Для лабораторного приміщення, де існує можливість природного провітрювання немає необхідності встановлювати приточно – витяжну вентиляцію, а доцільно використовувати кондиціонер спліт-системи, що працює на рециркуляційном повітрі.

Компресорно-конденсаторний блок такого кондиціонера встановлюється за межами приміщення на вулиці, а в приміщенні встановлюється внутрішній блок спліт-системи. Між собою внутрішній і зовнішній блоки зв'язані фреоновими трубопроводами в ізоляції.

Для вибору кондиціонера по холодопродуктивності необхідно розрахувати теплонадлишки в приміщенні, площею  $S = 25 \text{ м}^2$ , висотою  $h = 3\text{м}$ , до яких входить тепло від людей, оргтехніки, освітлення та ін.

Так як в лабораторному приміщенні розташовані 3 комп'ютери і постійно працюють 3 людини теплонадходження можливо розрахувати:

$$Q_1 = S \cdot h \cdot q = 25 \cdot 3 \cdot 35 = 2625 \text{ Вт}; \quad (4.1)$$

$$Q_2 = 300 \cdot 3 = 900 \text{ Вт}; \quad (4.2)$$

$$Q_3 = 100 \cdot 3 = 300 \text{ Вт}; \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{общ}} = 2625 + 900 + 300 = 3825 \text{ Вт}. \quad (4.4)$$

Отже, модель кондиціонера спліт-системи вибираємо з типового ряду за найближчим (з урахуванням запасу) значенням холодопродуктивності.

Для забезпечення цілорічної роботи кондиціонера оптимальним є використання обладнання фірми Bork, тому що кондиціонери цієї фірми ефективно працюють в режимі «теплового насоса» в холодну пору року. Ряд технічних рішень, реалізованих у конструкції кондиціонерів Bork, забезпечує роботу при низьких температурах зовнішнього повітря (до  $t = -20^\circ\text{C}$ ).

У розглянутому лабораторному приміщенні немає фальш-стелі, тому немає можливості встановити спліт – систему прихованої установки. Тому було обрано модель Y701 настінного типу, так як по холодопродуктивності  $N_x = 4 \text{ кВт}$  – це найближче значення до розрахованих теплонадлишків приміщення.

Внутрішній блок кондиціонера встановлюємо на висоті  $h = 2.5\text{м}$ , тобто вище робочої зони приміщення. Зовнішній блок встановлюється на вулиці, на стіні під вікном, для зручного монтажу та обслуговування кондиціонера. Між внутрішнім і зовнішнім блоками встановлюються фреонові трубопроводи та електричний з'єднувальний кабель.

При роботі кондиціонера в режимі охолодження у внутрішньому блоці утворюється конденсат, тому необхідно передбачити відведення конденсату (дренажу) від внутрішнього блоку. Для підключення кондиціонеру спліт-

системи до однофазної електромережі (220В, 50Гц) необхідно встановити для нього у розподільному щиту персональний автоматичний вимикач та прокласти трижильний кабель до місця встановлення кондиціонеру.

#### 4.4 Електробезпека

На робочому місці користувача ЕОМ розміщені дисплей, клавіатура і системний блок. При включенні дисплея на електронно-променевої трубки створюється висока напруга в кілька кВ. Тому забороняється доторкатися до тильної сторони дисплея, витирати пил з комп'ютера при його включеному стані, працювати на комп'ютері у вологій одежі і вологими руками.

Перед початком роботи слід переконатися у відсутності висячих під столом проводів електроживлення, в цілісності вилок і дроту електроживлення, у відсутності видимих пошкоджень апаратури і робочих меблів, у відсутності пошкоджень.

Струми статичної електрики, які виникають в процесі роботи комп'ютера на корпусах монітора, системного блоку і клавіатури, можуть призводити до розрядів при дотику до цих елементів. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але можуть призвести до виходу з ладу комп'ютера. Для зниження величин струмів статичної електрики використовуються нейтралізатори, місцеве і загальне зволоження повітря, використання покриття підлог з антистатичним просоченням.

Так як, у лабораторному приміщенні для дослідницької роботи, окрім ЕОМ, розташована велика кількість електричного обладнання то його слід віднести до групи приміщень з підвищеною безпекою [30].

#### 4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково має бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і вказує місця розташування пожежної техніки.

Горючими компонентами у лабораторному приміщенні з ЕОМ є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, перфокарти і перфострічки, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання у лабораторному приміщенні можуть бути електричні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції.

Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості лабораторних приміщень встановлена категорія пожежної небезпеки В [29,30].

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафках, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожежі горючих матеріалів, що починається, а також горючих рідин використовується ручний пінний вогнегасник ОХП-10. Для



гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислий вогнегасник ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, в кількості двох вогнегасників на кожен установку. Існують пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації.

Забезпечення техногенної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності суб'єктів господарювання. Забезпечення техногенної безпеки покладається на відповідних посадових осіб, керівників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними нормативно-правовими або цивільно-правовими актами. Заходи щодо забезпечення техногенної безпеки враховуються органами архітектури, замовниками, забудовниками, проектними та будівельними організаціями при проектуванні та забудові населених пунктів, будівництві, розширенні, реконструкції та технічному переоснащенні потенційно небезпечних об'єктів, установ та організацій.

У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники лабораторії організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідують або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Добролюбова, або управо для виходу на вулицю Незалежної України (рис. 4.1).

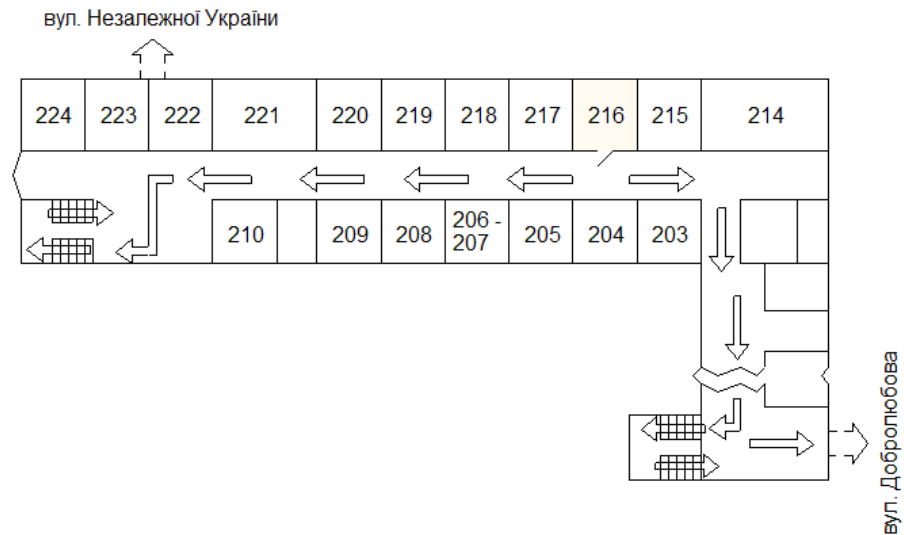


Рисунок 4.1 – План евакуації при пожежі із лабораторії

#### 4.6 Розрахунок місцевого освітлення робочого місця при монтажі елементів на плату

Згідно СНіП 23-05-95 для місцевого освітлення (у складі комбінованого освітлення) слід використовувати світильники з непрозорими відбивачами. Світильники місцевого освітлення слід розташовувати так, щоб їх елементи, що світять, не потрапляли прямо у поле зору працівників як даного так і інших робочих місць [29].

Вираження для освітленості даної точки “а” поверхні спостережуваного об’єкту визначається вираженням:

$$E_a = \frac{J_{cv}}{l_{ca}^2} \cos \gamma_{ca}.$$

Тут  $J_{cv}$  – сила світла, що випромінюється світильником, кд/м<sup>2</sup>;  $l_{ca}$  – довжина шляху світлового променя від елемента, що світить, до точки “а” спостережуваного об’єкту, м;  $\gamma_{ca}$  - кут, що утворюється світловим променем в напрямі від елемента, що світить, до точки “а” і нормаллю до

спостережуваної поверхні в точці “а”, рад. Розташування світильника на робочому місці показано на рисунку 4.2.

У точці “а” світильник місцевого освітлення повинен створювати освітленість, рівну нормативному значенню для місцевого освітлення (в даному випадку 180 лк), з відхиленням в межах  $-10\%$  -  $+20\%$ .

Визначимо силу світла, потрібну від світильника місцевого освітлення:

$$x_{ce} = 20\text{см}; y_{ce} = 10\text{см}; z_{ce} = 20\text{см}; x_a = 20\text{см}; y_a = 30\text{см}$$

$$l_{ca}^* = \sqrt{(x_{ce} + x_a)^2 + (y_{ce} + y_a)^2} = 56,6\text{см}$$

$$l_{ca} = \sqrt{l_{ca}^{*2} + z_{ce}^2} = 60\text{см}$$

$$\gamma_{ca} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{z_{ce}}{l_{ca}}\right) = 1.231\text{рад}$$

У світильнику використовується лампа розжарювання, тому лампи світильника місцевого освітлення обираються по величині створюваного світлового потоку.

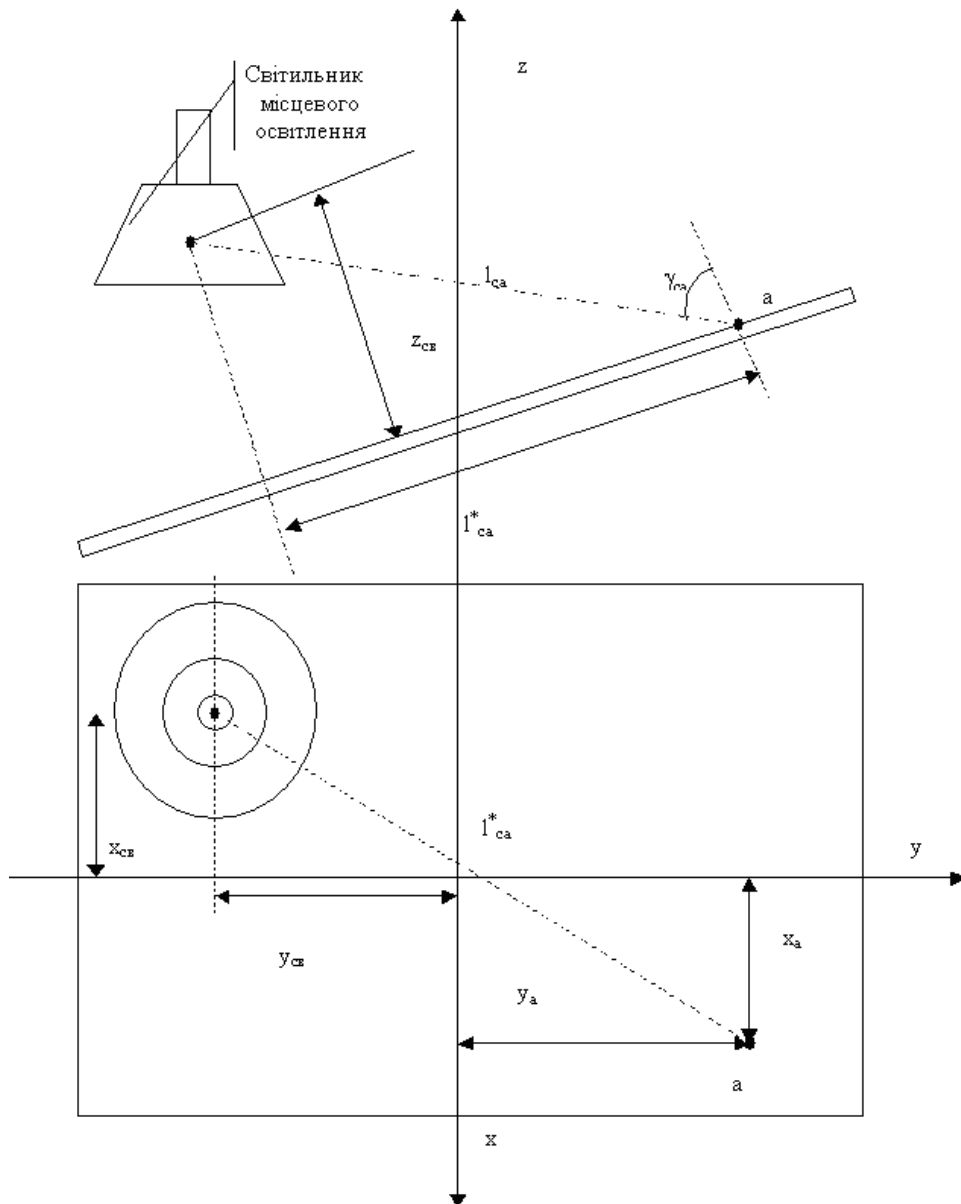


Рисунок 4.2 – Розташування світильника місцевого освітлення

$$\Omega_{св} = 2\pi \left\{ 1 - \cos \left[ \arctg \left( \frac{d_{св}}{2h_l} \right) \right] \right\} = 4,14$$

$$\Phi_{л} = E_{нормм} \cdot l_{св.а.}^2 \cdot \frac{4\pi}{\cos \gamma_{ca}} \left[ 1 + \chi_{св} \rho_{св} \left( \frac{4\pi}{\Omega_{св}} - 1 \right) \right]^{-1} = 796$$

З таблиці [29] вибираємо лампу розжарювання типа БК-215-225-60 потужністю 60 Вт.

## Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) у роботі запропоновано у якості наноматриці для формування квантових точок (КТ) використати структуру  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ), яку було отримано за допомогою метода пульверизації із наступною термічною обробкою;

2) параметри структури  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) є достатніми для використання її у якості транспорту квантової точки із захопленими біологічним об'єктом малого розміру;

3) для проведення дослідження люмінесцентних характеристик квантово-біологічної структури пропонується структурна схема на основі напівпровідникових фотодіодів та фотоелектронних помножувачів;

4) для забезпечення роботи каналу випромінювання пропонується використання RGB – світлодіода типу AAF5060PBESEEVG, що випускається фірмою Kingbright;

5) для реалізації попереднього підсилювача сигналу фотоприймача застосуємо широко поширений операційний підсилювач LM358;

6) у роботі було досліджено можливий варіант створення більш ефективної системи випромінювач – реєстрація на основі SiPM фотодетекторів, що керуються мікросхемою SPIROC;

7) розраховані показники параметрів функціональних блоків пристрою добре узгоджуються із результатами моделювання в середовищі Proteus.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках квантово-біологічних інформаційних систем;

2) макетний варіант системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

## Перелік посилань

1. Павлік С. І, Зубко Є. І. Основи наноелектроніки. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 6.05080102 «Мікро-та наноелектроніка». Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 50 с.
2. Готра З. Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури наноелектроніки. Підручник / З. Ю. Готра, І. І. Григорак, Б. А. Лукіянець, В. П. Махній, С. В. Павлов, Л. Ф. Політанський, Ежи Потенські. Чернівці : Видавництво та друкарня «Технологічний центр». 2014. 839 с.
3. Resch-Gender, U. Quantum dots versus organic dyes as fluorescent labels / U. Resch-Gender [et al.] // Nature methods. 2008. Vol. 5(9). P. 763-775.
4. Perozzo, R. Thermodynamics of protein-ligand interactions: History, presence, and future aspects / R. Perozzo, G. Folkers, L. Scapozza // J. Recept. Signal. Transduct. Res. 2004. №24. P. 1-52.
5. Lakowicz, J. R. Principles of Fluorescence Spectroscopy / J.R. Lakowicz. Maryland : University of Maryland School of Medicine, 2003. 960 p.
6. Kubista, M. Experimental correction for the inner-filter effect in fluorescence spectra / M. Kubista, R. Sjoback, S. Eriksson. // Analyst. 1994. Vol. 119. P. 417-419.
7. Chatterjee, S. Spectroscopic investigation of interaction between bovine serum albumin and amine-functionalized silicon quantum dots / S. Chatterjee, T. Kanti // Phys.Chem.Chem.Phys. 2014. Vol. 16. P. 8000-8408.
8. Lai, L. Spectroscopic studies on the interactions between CdTe quantum dots coated with different ligands and human serum albumin / L. Lai, C. Lin, Z.-Q. Xu et al. // Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy. 2012. Vol. 97. P.366-376.
9. Опис аналізатора речовини Флюорат-02. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://www.lumex.org/catalog/flyuorat-02-5m.php> – (дата звернення: 11.03.2022)

10. Опис спектрофотометра DR1900. [Електронний ресурс]: Режим досупа <https://hach.com/dr1900/product?id=38978855079> – (дата звернення: 11.03.2022).
11. Опис спектрофотометра DR6000. [Електронний ресурс]: Режим досупа <https://hach.com/-/dr6000/family?productCategoryId=22216202845> (дата звернення: 11.03.2022).
12. Опис спектрофотометра DR6000. [Електронний ресурс]: Режим досупа <https://solar.by/spektrofotometr-uv/> (дата звернення: 11.03.2022).
13. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Р.Д. Киес [и др.] ; пер. с англ. М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
14. Полупроводниковые фотоприемники: Ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра / И. Д. Анисимова [и др.]. – М. : Радио и связь, 1984. 216 с.
15. Spanoudaki, V.C. Photo-Detectors for Time of Flight Positron Emission Tomography (ToF-PET) / V. C. Spanoudaki, C. S. Levin. [Електронний ресурс]: Режим досупа <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/11/10484>. (дата звернення: 11.03.2022).
16. Korpar, S. Status and perspectives of solid state photon detectors / S. Korpar // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2011. Vol. A639. P. 88–93.
17. Toru, I. Status and perspectives of vacuum-based photon detectors / I. Toru // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2011. Vol. A639. P. 137–143.
18. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л., Левінзон Д. І. Нелінійно-оптичні властивості ZnO / Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка». Тези доповідей – Кременчук : КНУ, 2018 С. 35.



19. Некрасов М. О., Новохатній І. П., Світанько М. В. Дослідження люмінесценції в квантово-біологічних структурах Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2022» Запоріжжя: ЗНУ, 2022. Т. т. 5 С. 131-132.

20. Світанько М. В. Дослідження нелінійно-оптичних властивостей структур  $\text{Cu}_2\text{S-CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) / Матеріали XXII Науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА Т. III 23, 27 жовтня 2017 р. Запоріжжя : ЗДІА С. 113.

21. Стафеев В.И. Полупроводниковые фотоприемники / В.И. Стафеев. М.: «Радио и связь», 1984. 214с.

22. Test of micropixel avalanche photodiodes / N Anfimov [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2007. Vol. A572. P. 413–415.

23. Beam test of Shashlyk EM calorimeter prototypes readout by novel MAPD with super high linearity / N. Anfimov [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2010. Vol. 617. – P. 78–80.

24. Danilov, M. Novel photo-detectors and photodetector systems / M. Danilov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2009. Vol. A604. P. 183-189.

25. Study of a 144 channel multi-anode hybrid avalanche photo-detector for the Belle II RICH counter / I. Adachi [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2011. Vol. A639. P. 103–106.

26. SPIROC (SiPM Integrated Read-Out Chip): dedicated very front-end electronics for an ILC prototype hadronic calorimeter with SiPM readout / M. Bouchel [et al.] // Topical workshop on electronics for particle physics 2010, 20–24 September 2010, Aachen, Germany.

27. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. Київ : Вища шк., 1997. 271с.

28. Бегун В. В., Науменко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. – 328 с.

29. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В. Г. Рижков Запоріжжя, 2005. 43 с.

30. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2005. 24 с.

**«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Науково-дослідна частина  
Наукове товариство  
студентів, аспірантів, докторантів  
Рада молодих вчених

**ЗБІРНИК**  
наукових праць студентів,  
аспірантів, докторантів і молодих вчених

**«МОЛОДА НАУКА-2022»**

**Том V**

*«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потєбні  
Запорізького національного університету»*

Запоріжжя  
2022

2022=УДК: 001 (06)  
М 754

#### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

- Фролов М.О.** – ректор ЗНУ;  
**Васильчук Г.М.** – проректор з наукової роботи;  
**Блоконь К.В.** – заступник директора з наукової діяльності Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;  
**Болдуєва О.В.** – начальник науково-дослідної частини;  
**Грушева Т.В.** – заступник декана з наукової роботи історичного факультету;  
**Дерев'янюк Ю.М.** – заступник декана з наукової роботи факультету іноземної філології;  
**Зубцова Ю.Є.** – заступник декана з наукової роботи факультету соціальної педагогіки та психології;  
**Караулова С.І.** – заступник декана з наукової роботи факультету фізичного виховання, здоров'я та туризму;  
**Ковпак В.А.** – заступник декана з наукової роботи факультету журналістики;  
**Копійка В.В.** – заступник декана з наукової роботи біологічного факультету;  
**Леонтьєва В.В.** – заступник декана з наукової роботи математичного факультету;  
**Лепська Н.В.** – заступник декана з наукової роботи факультету соціології та управління;  
**Липенко А.В.** – заступник декана з наукової роботи економічного факультету;  
**Меркулова О.В.** – заступник декана з наукової роботи філологічного факультету;  
**Носик М.О.** – відповідальний за наукову роботу ВСП «Економіко-правничого фахового коледжу ЗНУ»;  
**Олійник О.Л.** – директор ВСП «Фахового коледжу бізнесу та харчових технологій ЗНУ»;  
**Олійник О.М.** – заступник декана з наукової роботи факультету менеджменту;  
**Пелех І.В.** – заступник декана з наукової роботи юридичного факультету;  
**Руднік О.Р.** – голова НТ САД ЗНУ;  
**Чопоров С.В.** – голова РМВ ЗНУ.

*Збірник укладено за результатами XV університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2022», що проходила 18-22 квітня 2022 року.*

*Автори публікацій несуть відповідальність за достовірність фактичних даних, чіткість викладу тексту, цитування, а також мовно-стилістичний рівень написання матеріалів.*

Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2022» : у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2022. – Т.5. – 262 с.

УДК: 001 (06)

М 754

©Запорізький національний університет, 2022

©Автори публікацій, 2022

Сигнал, що знімається, відображує розподілену електричну реакцію на сітківці на біоелектричне збудження.

Програма, по якій повинен працювати вимірювальний модуль повинна представляти систему, яка працює в асинхронному режимі, тобто під зовнішньою дією (команди), система переходить з одного режиму в інший. Такими діями служать зовнішні і внутрішні події, а їх реалізацією служать переривання мікроконтролера.

Розроблений пристрій для проведення додаткової діагностики аналізу ретинальної гостроти зору і різних захворювань сітківки, зручніший в порівнянні з існуючими аналогами, оскільки має виведення інформації на персональний комп'ютер.

Для перетворення сигналу після його зняття з аналогового датчика оптимальним є використання підсилювача, виконаного за неінвертуючим типом на основі операційного підсилювача; фільтру нижніх частот; схеми вибірки/запам'ятовування із замкнутим контуром; аналого-цифрового перетворювача з інтеграцією.

Багатофункціональність пристрою полягає в можливості використання роботи модуля виміру в режимі «транзит» під управлінням процесу діагностичного виміру за допомогою ПЕВМ.

Програмно-апаратні засоби мікроконтролера і точна регламентація алгоритмів роботи програмного забезпечення дозволяють добитися високої точності і надійності проведення діагностичних вимірів.

### Література

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с.

**Некрасов Максим**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

**Новохатній Іван**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

Наук. кер.: канд. фіз.-мат. наук, доц. Світанько М.В.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ В КВАНТОВО-БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУРАХ

Один із видів люмінесценції – флуоресценція - є методом дослідження структури і динаміки процесів, які протікають у біологічних середовищах. Поєднання методів флуоресценції і моделі напівпровідникової квантової точки надає можливість проводити дослідження біологічних нанооб'єктів при відносних обмеженнях у експериментальному обладнанні [1].

Квантові точки (КТ) - це напівпровідникові нанокристали, в яких завдяки ефекту просторового обмеження носіїв зарядів проявляються квантові властивості. Найбільш суттєвим з них є формування флуоресцентних рівнів -

довжина хвилі випромінювання флуоресценції стає залежною від розміру області просторового обмеження, а отже, від розміру квантової точки. Напівпровідникові КТ зазвичай синтезують із елементів груп II - VI або III - V періодичної таблиці, наприклад, CdSe, CdTe або InAs [1,2].

У роботі запропоновано у якості наноматриці для формування КТ використати структуру  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ), яку було отримано за допомогою метода пульверизації із наступною термічною обробкою [3].

Попередні дослідження електрофізичних, оптичних та нелінійно-оптичних характеристик структури  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) продемонстрували можливість формування у ній нанорозмірних квантових об'єктів, а також люмінесцентних ефектів [4].

Такі ефекти можуть бути запропоновані у подальших дослідженнях по формуванню нанопасток для біологічних об'єктів надмалого розміру і подальшого їх транспорту на значні відстані.

### Література

1. Павлік С. І, Зубко Є. І. Основи наноелектроніки. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 6.05080102 «Мікро-та наноелектроніка». Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 50 с.
2. Готра З. Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури наноелектроніки. Підручник / З. Ю. Готра, І. І. Григорак, Б. А. Лукіянець, В. П. Махній, С. В. Павлов, Л. Ф. Політанський, Ежи Потенські. Чернівці : Видавництво та друкарня «Технологічний центр». 2014. 839 с.
3. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л., Левінзон Д. І. Нелінійно-оптичні властивості ZnO / Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка». Тези доповідей – Кременчук : КНУ, 2018 С. 35.
4. Світанько М. В. Дослідження нелінійно-оптичних властивостей структур  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) / Матеріали XXII Науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА Т. III 23, 27 жовтня 2017 р. Запоріжжя : ЗДІА С. 113.

**Новохатній Іван**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

**Некрасов Максим**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

Наук. кер.: канд. фіз.-мат. наук, доц. Світанько М.В.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧНОГО ДАТЧИКУ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

Для фіксації та реєстрації акустичної інформації існує величезний набір засобів: електронні стетоскопи, акустичні закладки, спрямовані й лазерні мікрофони, апарати-магнітного запису. Аналіз акустичних каналів перенесення

інформації, методів використання стаціонарних пристроїв детекції низькочастотних сигналів, дослідження акусто-електричного перетворення є досить актуальною темою [1,2].

Для удосконалення акустичних інформаційних систем у роботі на базі прототипу акустичного датчика ІТV КС-121 розроблено схему датчика високої роздільної здатності із наступними параметрами та функціональними можливостями:

- 1) напруга живлення: 8,5 – 16 В;
- 2) струм споживання, не більше в черговому режимі: 12,5 мА;
- 3) струм споживання, не більше в режимі тривоги: 8,5 мА;
- 4) діапазон робочих температур -10 °С ... + 40 °С;
- 5) цифровий математичний алгоритм обробки обох каналів; 6) відсутність аналогової обробки сигналу, що підвищує стійкість до електростатичних і електромагнітних перешкод.

Результати спектрального дослідження резонансної частоти представлено на рисунку 1.

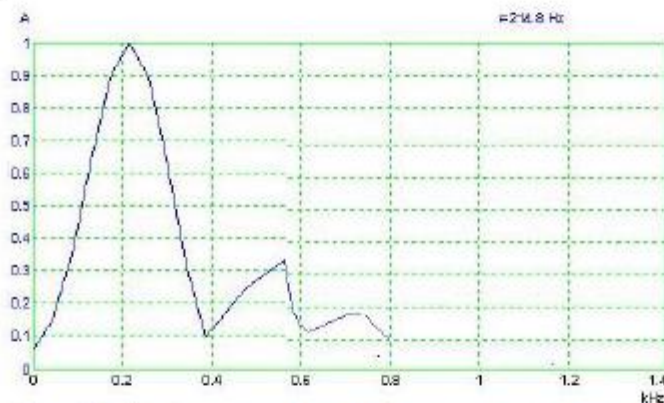


Рисунок 1 – Дослідження резонансної частоти акустичного датчика

### Література

1. Грінченко В. Т. Основи акустики: навч. посіб. / В. Т. Грінченко, І. В. Вовк, В. Т. Маципура. – К. : Наук. думка, 2007. – 640 с.
2. Захист мовної інформації [Електронний ресурс] : ТЗІ – Інформаційна безпека та захист інформації. - Інформаційна безпека та захист інформації. 11 грудня 2021. Режим доступу : [http://tzi.ua/ua/zahist\\_movno\\_nformac.html](http://tzi.ua/ua/zahist_movno_nformac.html).



## ЗМІСТ

## СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ»

<b>Абузяров Владислав</b> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ АТ «МОТОР СІЧ» .....	4
<b>Березненко Артем</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕХУ З РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ ПАТ «ЗАПОРІЖЖЯОБЛЕНЕРГО».....	5
<b>Бударенко Олександр</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ УПРАВЛІННЯ ВП ДНІПРОВСЬКОЇ ЕС ДП НЕК «УКРЕНЕРГО».....	6
<b>Гревцев Олег</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СКОРОЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ПАТ «ЗАПОРІЖЖЯОБЛЕНЕРГО».....	7
<b>Доценко Валерій</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ В УМОВАХ ПРАТ «ДСС».....	8
<b>Карнаух Антон</b> ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ПРАТ «ЗАПОРІЖЖЯОБЛЕНЕРГО».....	9
<b>Кравець Аліна</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕХУ №10 ТОВ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ТИТАНО-МАГНІСВИЙ КОМБІНАТ».....	10
<b>Краснокутський Любомир</b> ІННОВАЦІЇ В ГІДРОЕНЕРГЕТИЦІ.....	11
<b>Литвинов Олексій</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МЕХАНІЧНИМ ЦЕХОМ ПАТ «ЕЛЕКТРОТЕХНОГІЯ».....	12
<b>Матушко Любов</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯНКИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАТ «ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯ».....	14
<b>Недава Дмитро</b> СТВОРЕННЯ ДОДАТКУ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ, КОНТРОЛЮ ТА МОНІТОРИНГУ БУДИНКУ.....	15
<b>Новокшонов Олексій</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ОБЛАДНАННЯМ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ».....	16

<b>Шелегін Андрій</b>	
<i>ОСОБЛИВОСТІ ВИПАРЮВАННЯ РОЗЧИНІВ У ВИРОБНИЦТВІ ГЛИНОЗЕМУ.....</i>	120
<b>Штаба Олена</b>	
<i>МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛООВОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ПУНКТУ.....</i>	122
<b>СЕКЦІЯ «МІКРОЕЛЕКТРОННІ ТА ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»</b>	
<b>Беримець Данило</b>	
<i>СХЕМА ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЦИФРОВОГО КОМПАРАТОРА.....</i>	124
<b>Демченко Павло</b>	
<i>ЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗАТОР ЦИФРОВИХ КОДІВ.....</i>	125
<b>Коротич Григорій</b>	
<i>ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНИХ ІНВЕРТОРІВ.....</i>	126
<b>Манасв Кирило</b>	
<i>МЕТОДИКА ЛІНЕАРИЗАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ ВІЗУАЛЬНО-БЛОЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ MATLAB SIMULINK.....</i>	127
<b>Ніколаєнко Дмитро</b>	
<i>РОЗРОБКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ.....</i>	129
<b>Нішанов Тимур</b>	
<i>ДІАГНОСТИКА ПАТОЛОГІЇ СІТКІВКИ ОКА.....</i>	130
<b>Некрасов Максим, Новохатній Іван</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ В КВАНТОВО-БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУРАХ.....</i>	131
<b>Новохатній Іван, Некрасов Максим</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧНОГО ДАТЧИКУ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ.....</i>	132
<b>Рибка Костянтин</b>	
<i>РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ.....</i>	134
<b>Сазонов Олександр</b>	
<i>ЦИФРОВИЙ ЧАСТОТОМІР НА PIC – КОНТРОЛЕРІ.....</i>	136
<b>Сушко Антон</b>	
<i>КОДУЮЧІЙ ПРИСТРІЙ З СКАНОВАНОЮ КЛАВІАТУРОЮ.....</i>	138
<b>Шкітун Іван</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ПРИСТРОЇВ ВИМІРУ НАПРУГИ.....</i>	139
<b>Шмалій Олена</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ IoT.....</i>	140