

Додаток Б. Основні характеристики та зовнішній вигляд фотоелектронного помножувача H5784-20

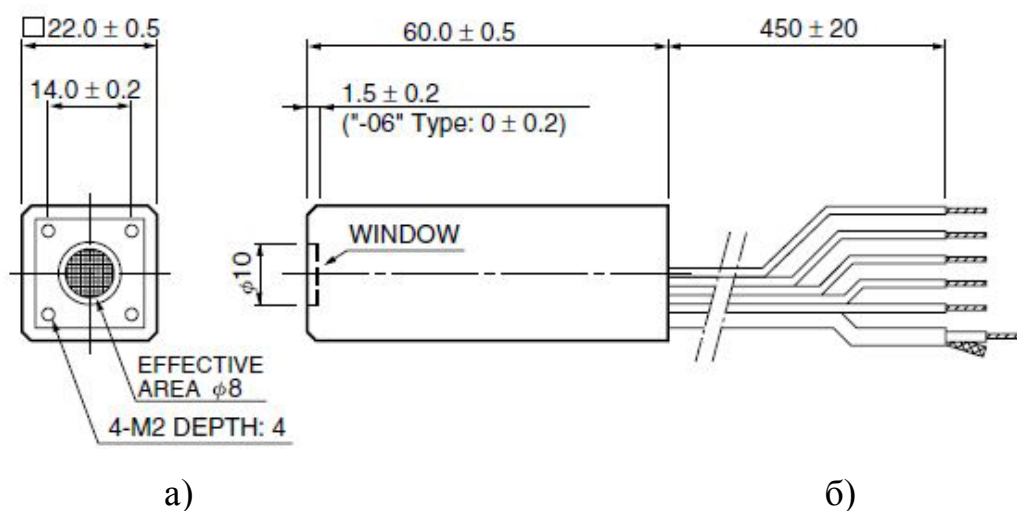


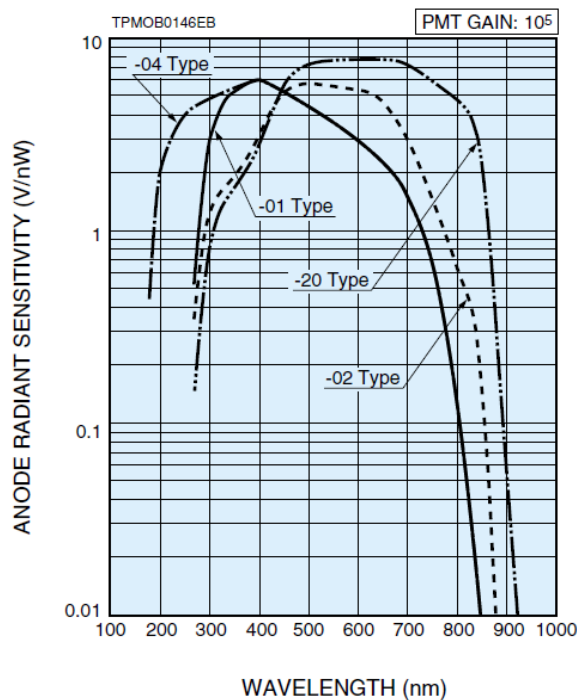
Рисунок Б.1 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри фотоелектронного помножувача Hamamatsu H5784-20: а – загальний вигляд модуля спереду; б – вигляд збоку

Таблиця Б.1 – Технічні параметри Hamamatsu H5784-20

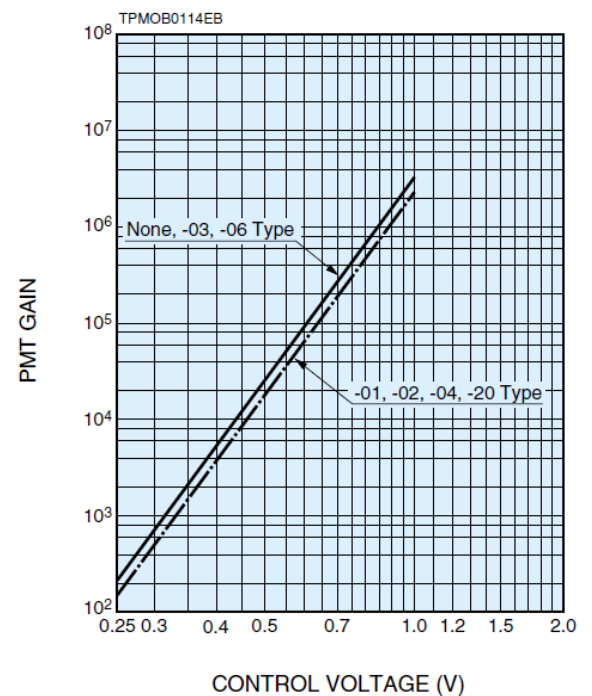
Параметр	Значення	Одиниці вимірювання
1	2	3
Напруга живлення	$\pm 11,5 \div \pm 15,5$	В
Максимальна напруга живлення	± 18	В
Максимальний вхідний струм	$+9/-1$	мА
Максимальна напруга вихідного сигналу (навантаження 10кОм)	+10	В
Максимальна напруга керування (вхідний опір 100 кОм)	+1.0	В
Робочий діапазон напруги керування	$+0.25 \div +0.9$	В
Ефективність площі фотокатода	$\varnothing 8$	мм
Діапазон налаштування чутливості	$1 \div 10^4$	–
Максимум чутливості	630	нм
Світлочутливість фотокатода	500	мкА/Лм
Світлочутливість анода	2.5×10^8	В/Лм

Продовження таблиці Б.1

1	2	3
Темнова вихідна напруга	2	мВ
Коеф. перетворення струм-напруга	1	В/мкА
Напруга зміщення нуля	± 3	мВ
Рівень шуму	2	мВ
Час встановлення	2	с
Робоча температура	$+5 \div +50$	$^{\circ}\text{C}$
Маса	100	г



а)



б)

Рисунок Б.2 – Робочі характеристики фотоелектронних помножувачів Hamamatsu H5784-01, H5784-02, H5784-04, H5784-20: а) залежність випромінювальної чутливості анода (В/нВт) від довжини хвилі (нм); б) залежність коефіцієнта підсилення фотоелектронного помножувача від напруги керування (В)

Додаток В. Основні характеристики та схема виводів мікросхеми AD5231

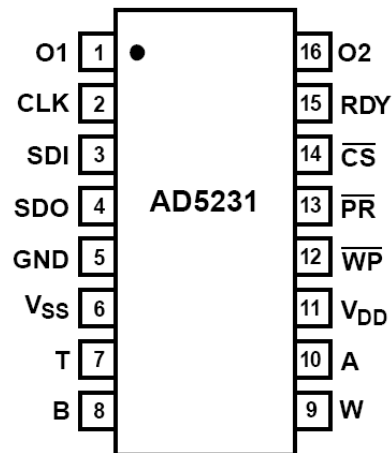


Рисунок В.1 – Схема виводів мікросхеми AD5231

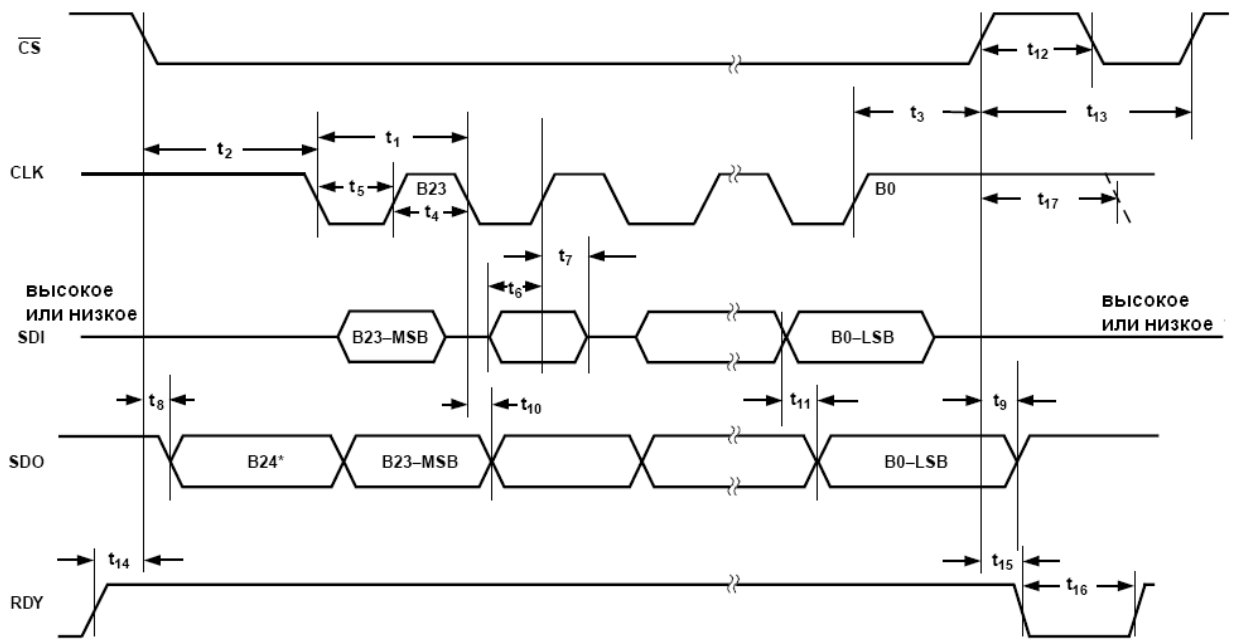


Рисунок В.2 – Часова діаграма прийому і передачі даних мікросхемою AD5231

Таблиця В.1 – Призначення виводів мікросхеми AD5231

Номер	Позначення	Призначення
1	O1	Цифровий вивід 1 з незалежної пам'яті (визначається значенням біта 0 в комірці пам'яті 1)
2	CLK	Тактовий вхід послідовного інтерфейсу
3	SDI	Вхід даних послідовного інтерфейсу
4	SDO	Вихід даних послідовного інтерфейсу (для каскадування мікросхем)
5	GND	Земля
6	V _{SS}	Живлення негативної полярності
7	T	Зарезервовано для тестування
8	B	Вивід B потенціометра
9	W	Вивід W потенціометра
10	A	Вивід A потенціометра
11	V _{DD}	Живлення позитивної полярності
12	WP	Захист від запису
13	PR	Апаратний скид потенціометра (положення движка завантажується з енергонезалежної пам'яті)
14	CS	Вибір чипу. Робочий стан низький
15	RDY	Готовність. 1 при завершенні останньої інструкції.
16	O2	Цифровий вивід 2 із енергозалежної пам'яті (визначається значенням біта 1 в комірці пам'яті 1)

Додаток Г. Модульний потенціостат Autolab PGSTAT302N

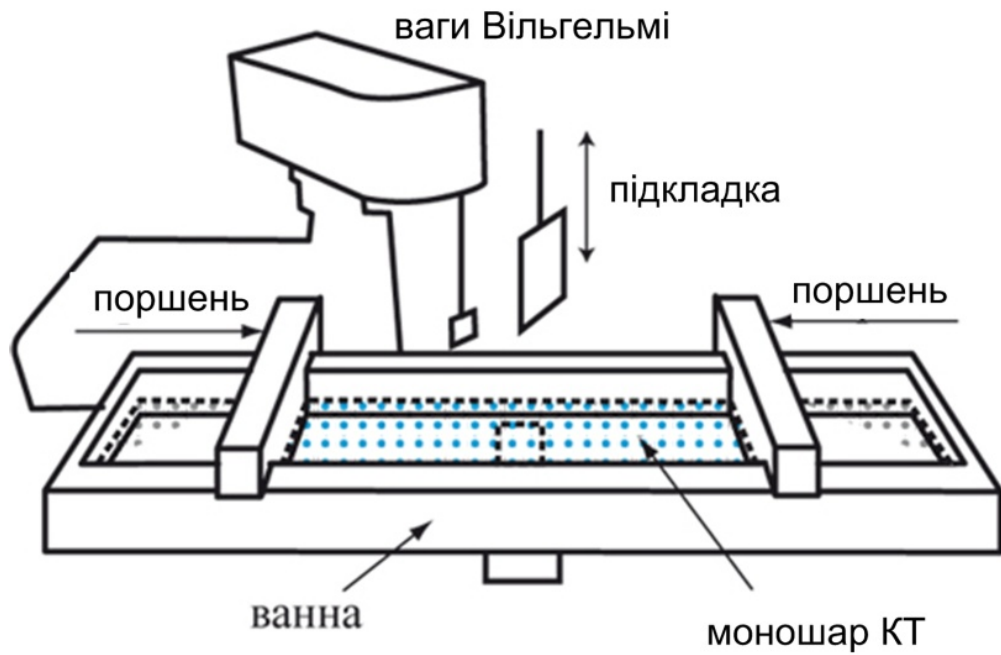


Рисунок Г.1 – Зовнішній вигляд робочої панелі потенціостата
Autolab PGSTAT 302 N

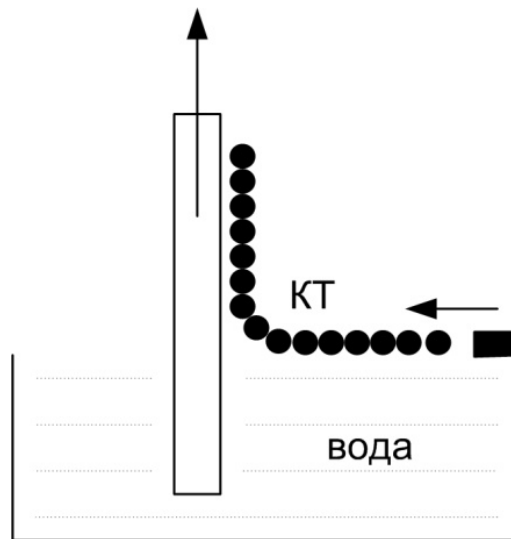
Таблиця Г.1 – Технічні параметри потенціостата Autolab PGSTAT 302 N

Параметр	Значення
Діапазон потенціалів, В	+/- 10
Співвідношення напруги, В	+/- 30
Максимальний струм, А	2
Діапазон струмів, А	$10^{-8} \div 1$
Точність потенціалу, %	$\pm 0,2$
Роздільна здатність потенціалу, мкВ	0,3
Точність струму, %	$\pm 0,2$
Роздільна здатність струму, %	0,0003 (діапазону струму)
Вхідний опір, ТОм	$> 1 \text{ T}\Omega$
Пропускна здатність потенціостата, МГц	1
Комп'ютерний інтерфейс	USB-шина
Керуюче програмне забезпечення	NOVA

Додаток Д. Метод нанесення тонких плівок на твердотільну поверхню



а)



б)

Рисунок Д.3 – Принцип роботи Ленгмюр-Блоджеттівської ванни (а) та отримання моношарів з наночасток (б)

Додаток Е. Презентація



Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра МЕЕПП

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

тема: **ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОПТИЧНОГО ПРИБОРУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У РІДКИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

Освітня програма: Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої

Виконав: ст. гр. МНПм-22-1 Логунов В.С.

Керівник: проф. Грицунов О.В.

Харків, 2023

2

Актуальність роботи

Всесвітньою організацією охорони здоров'я доведено, що основною причиною виникнення онкозахворювань є біологічно активні канцерогенні агенти.

Щороку у понад 150 тисяч українців виявляють злякисні пухлини.
Більше половини хворих помирають



Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.	Логунов			ГЮІК 947157.000 ПЗ	
Перев.	Грицунов				
Н. контр.	Шевченко			МНПм-22-1	Аркуш 1
Затв.	Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

3

Метою науково-дослідної роботи є розробка та дослідження оптичного нанотехнологічного оптичного пристрою, автоматизація процесу аналізу та зниження межі визначення аналізу органічних речовин у рідких середовищах.

Об'єкт дослідження – процеси у напівпровідникових квантово-розмірних структурах двохелектродної комірки оптичного сенсора при взаємодії з органічними сполуками під час аналізу, що супроводжуються протіканням електричного струму та випромінюванням оптичного аналітичного сигналу.

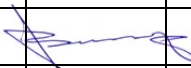
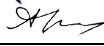
Предмет дослідження – нанотехнологічний оптичний пристрій для визначення органічних речовин у рідких середовищах.

Методи дослідження: теоретичні дослідження роботи базуються на математичному моделюванні компонентів оптичного пристрою з використанням апарату теорії вимірювань. Дослідження оптичних та електрохімічних властивостей зразків, обробка даних проводилися з використанням сучасних оптичних методів та електрохімії, апробованих методик та сучасного оптичного, електрохімічного та нанотехнологічного обладнання. Статистична обробка експериментальних результатів базується на використанні регресійного аналізу та побудові на його основі градувального графіку.

4

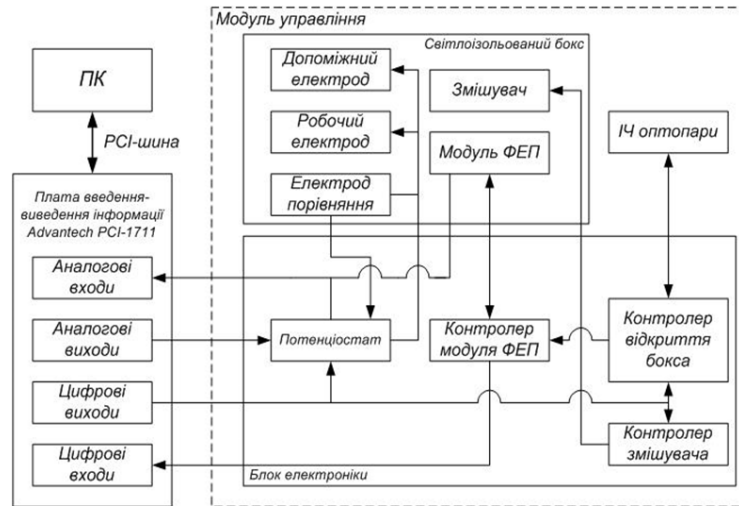
Методи визначення ПАВ у рідиннофазних системах

Назва методу	Селективність	МКВ, г/л	Тривалість аналізу	Недоліки методу
Хроматографічні	висока	$\sim 10^{-3}-10^{-6}$	~ 3 год	Складність, трудоємність
Оптичні (спектральні)	низька	$\sim 10^{-3}-10^{-6}$	~ 1 год	Недостатня селективність, нестабільність характеристик, «вицвітання» люмінофору
Імуно-хімічні методи	висока	~ 0,9	~ 3 год	Трудоємність, тривалість прободготовки та аналізу, невисока чутливість, висока МКВ
Електрохімічні (вольтамперометрія)	висока	$\sim 10^{-2}-10^{-5}$	~ 1 год	Висока МКВ, швидке забруднення поверхні електродів нерозчинними продуктами електродної реакції
Хромато-мас-спектрометричні	висока	$\sim 10^{-2}-10^{-6}$	~ 1-3 год	Неможливість роботи з речовинами, які неможна перевести в пари, тривала прободготовка, необхідність підбору умов до кожного зразку
Біологічні тести	низька	~ 0,7	3-30 діб	Тривалість, висока МКВ та МКВ, низькі чутливість та низька селективність

	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.		Логунов			ГЮОК 947157.000 ПЗ	
Перев.		Грицунов				
Н. контр.		Шевченко			МНПм-22-1	Аркуш 2
Затв.		Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

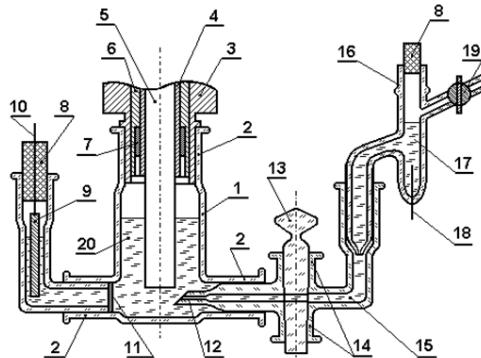
5

**Прототип оптичного пристрою - комплекс для
електрохімічних та електрохемілюмінесцентних досліджень
та аналізу ЕЛАН-3д**



6

ЕХЛ-комірка комплексу ЕЛАН-3д

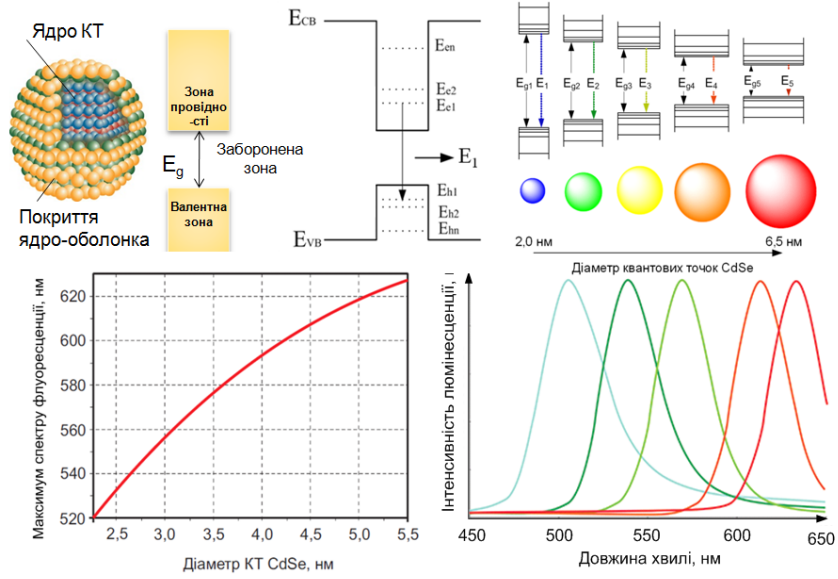


- 1 – скляний корпус (об'єм 15 см³); 2 – конічні шліфові муфти; 3 – посадковий конус вузла обертання; 4 – патрон кріплення вузла дискового електроду; 5 – вузол ДЕ (К); 6 – направляюча втулка; 7,8 – фторопластова ущільнююча прокладка та пробки; 9 – допоміжний електрод (пластина з Pt); 10 – електричний контакт підключення електрода 9 до програматора ЕХП-3; 11 – перегородка (пориста мембрана); 12 – капіляр Лугіна-Габера з краном 13 в конічних шліфових муфтах 14; 15 – сольовий місток (розчин солі фонового електроліту в розчиннику, який використовується в ЕХЛ-композиції); 16 – корпус електрода порівняння; 17 – сольовий розчин Hg|Hg₂Cl₂|KCl; 18 – електричний контакт підключення ЕП до біпотенціостату; 19 – кран для підключення системи заповнення ЕП; 20 – ЕХЛ-композиція

Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.	Логунов			ГЮІК 947157.000 ПЗ	
Перев.	Грицунов				
Н. контр.	Шевченко			МНПм-22-1	Аркуш 3
Затв.	Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

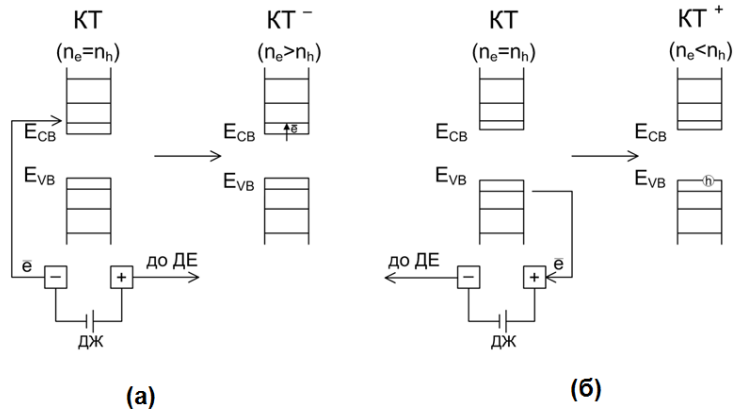
Квантові точки та їх фізико-хімічні властивості

7



Електрохімічні процеси за участю напівпровідникових квантових точок

8

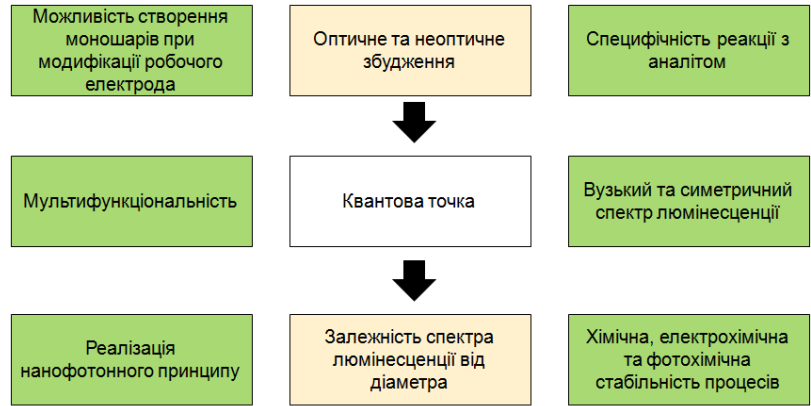


Схематичне зображення процесів відновлення (а) та окислення (б) напівпровідникової КТ у розчині:
 ДЕ – допоміжний електрод; ДЖ – джерело живлення; n_e – кількість електронів; n_h – кількість дірок

	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.		Логунов			ГЮОК 947157.000 ПЗ	
Перев.		Грицунов				
Н. контр.		Шевченко			МНПМ-22-1	Аркуш 4
Затв.		Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

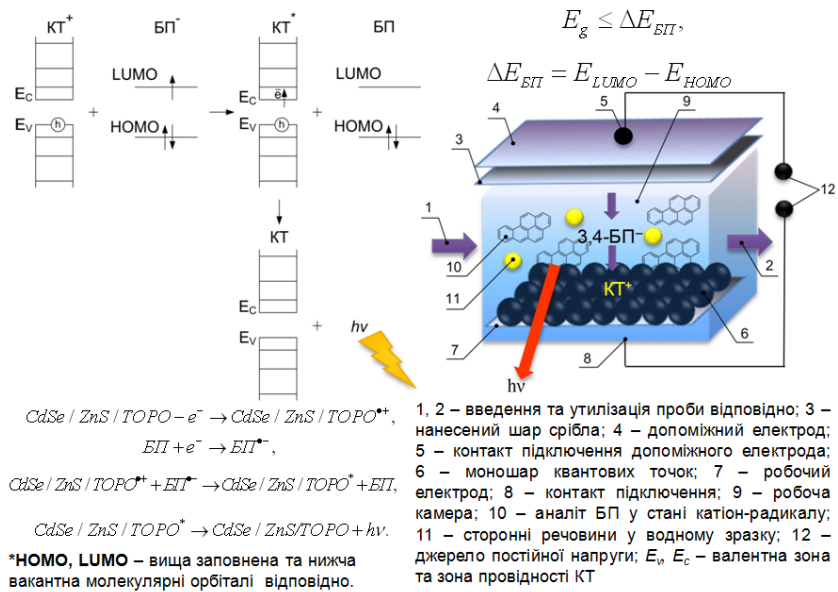
9

Переваги квантових точок як детекторних елементів



10

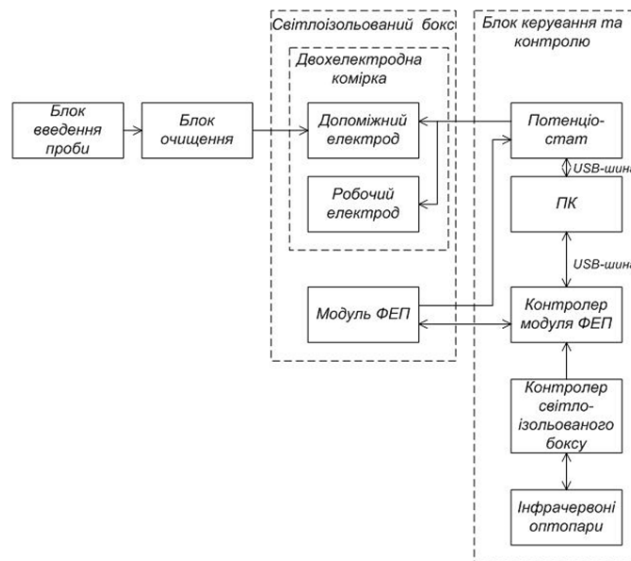
Фізична модель процесів під час детектування аналіту у первинному перетворювачі



Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.	Логунов			ГЮІК 947157.000 ПЗ	
Перев.	Грицунов				
Н. контр.	Шевченко			МНПМ-22-1	Аркуш 5
Затв.	Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

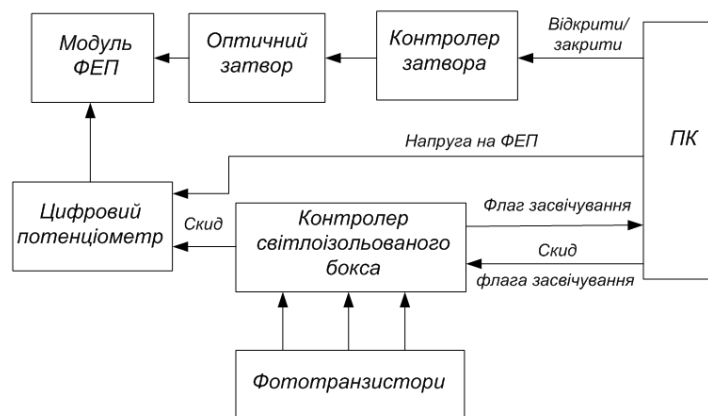
Структурна схема оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах

11



Структурна схема контролера модулю фотоелектронного помножувача

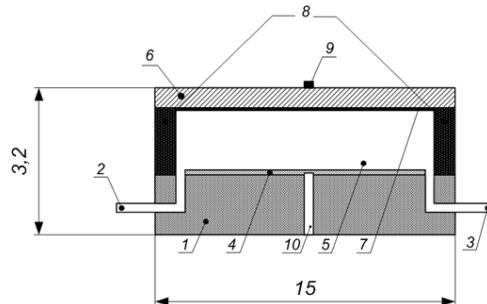
12



	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.		Логунів			ГЮІК 947157.000 ПЗ	
Перев.		Грицунов				
Н. контр.		Шевченко			МНПМ-22-1	Аркуш 6
Затв.		Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Конструкція та оцінка параметрів аналітичного сигналу первинного перетворювача для визначення БП у рідиннофазних середовищах

13

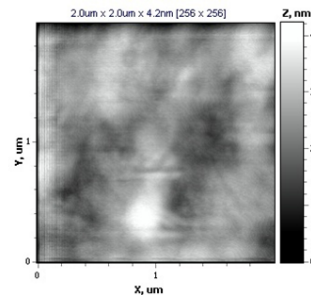
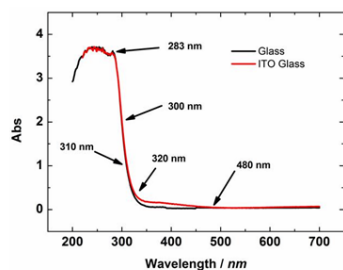


1 – підкладка; 2, 3 – отвори для введення та виведення зразку відповідно;
4 – допоміжний електрод; 5 – робоча камера;
6 – робочий електрод; 7 – шар КТ; 8 – прокладка; 9, 10 – контакти для підключення робочого та допоміжного електродів відповідно

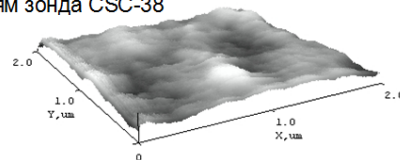
Дослідження ІТО*-підкладки

14

Спектри поглинання ІТО-підкладки



Результати АСМ сканування ІТО-підкладки без покриття (а) та 3D зображення (б).
Параметри сканування: 2 мкм×2 мкм×4,2 нм [256×256] з використанням зонда CSC-38



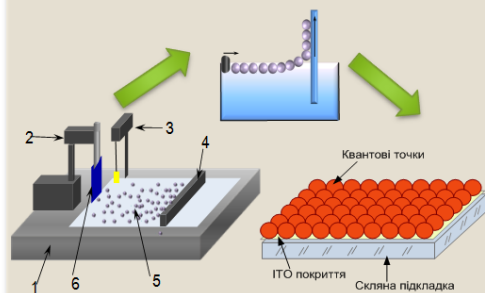
*ІТО - індій олово оксид

Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.	Логунов			ГЮІК 947157.000 ПЗ	
Перев.	Грицунов				
Н. контр.	Шевченко			МНПм-22-1	Аркуш 7
Затв.	Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

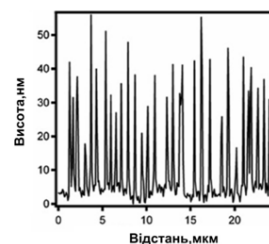
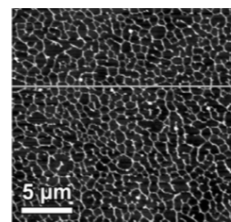
Нанесення мономолекулярних шарів КТ та АСМ ІТО підкладки

15

Схема формування мономолекулярного шару КТ на ІТО-електроді у Ленгмюр-Блоджеттівській ванні



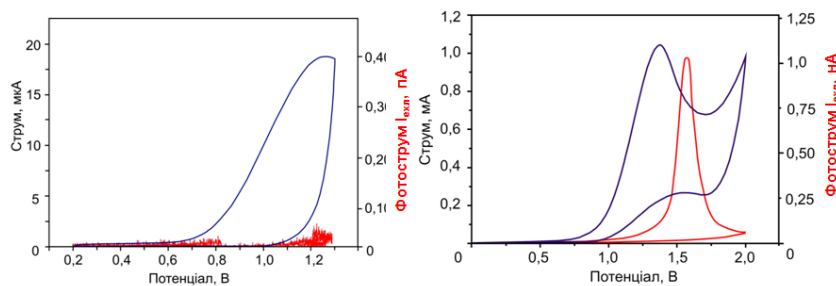
1 – Ленгмюр-Блоджеттівська ванна; 2 – механізм опускання підкладки; 3 – ваги Вільгельмі; 4 – плавучий бар'єр; 5 – розчин КТ на поверхні бідистильованої води; 6 – твердотільна підкладка



Результати АСМ сканування адсорбованих КТ CdSe/ZnS/ТОПО на підкладку ІТО (параметри сканування 47,8 мкм×47,8 мкм×2,5 мкм [256×256]) з використанням кантилівера DP17-NiRes-C

Тестування нанофотонного сенсорного системи для визначення 3,4-бензпірену у рідиннофазних середовищах

16



(а)

(б)

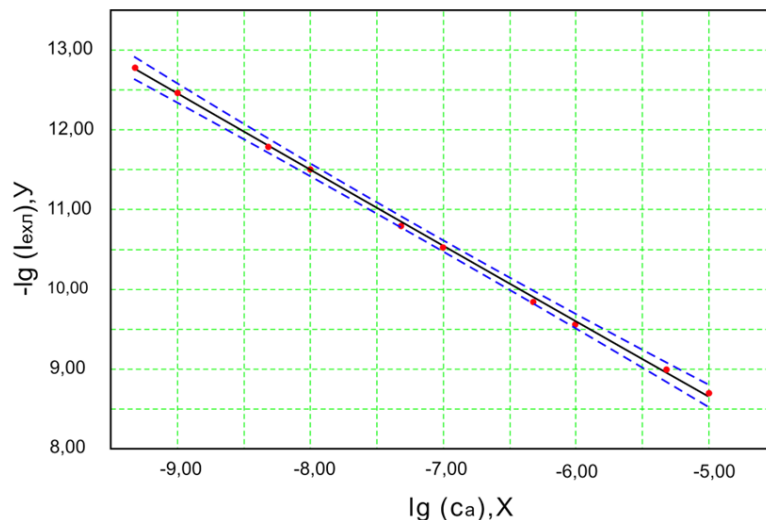
Електрохімічні та електрохемілюмінесцентні дослідження модельної системи вода:ДМФА 1:1, фон: 0,1 М NaClO₄ (а) і 10⁻⁵ М 3,4-бензпірена в середовищі вода:ДМФА 1:1, фон: 0,1 М NaClO₄

(б)

	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.		Логунов			ГЮОК 947157.000 ПЗ	
Перев.		Грицунов				
Н. контр.		Шевченко			МНПм-22-1	Аркуш 8
Затв.		Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Оцінка випадкових похибок та побудова градувального графіка визначення БП у рідиннофазних середовищах

17



Межа виявлення та межа визначення даного методу аналізу дорівнюють $0,53 \cdot 10^{-10}$ моль/л та $1,58 \cdot 10^{-10}$ моль/л відповідно.

Рекомендації до оптичного пристрою для визначення органічних речовин у водних розчинах

18

Матеріал електроду	скляна підкладка з ІТО покриттям
Розмір довжина × ширина × висота, мм	15 × 10 × 3,2
Середовище для електролізу	диметилформамід, вода
Метод формування шару КТ	метод ЛБ
Кількість шарів КТ на поверхні	1
Тип квантових точок	CdSe/ZnS
Стабілізуюче покриття КТ	триоктилфосфін оксид (TOPO)
Нижня межа визначення аналізу, моль/л	$1,58 \cdot 10^{-10}$
Тривалість прободготовки, хв.	10
Тривалість аналізу, хв.	5
Селективність	визначається протоколом аналізу ~ 1 нмоль/л для суміші однотипних речовин

Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.	Логунов			ГЮОК 947157.000 ПЗ	
Перев.	Грицунов				
Н. контр.	Шевченко			МНПМ-22-1	Аркуш 9
Затв.	Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

**Порівняльна характеристика нанофотонного метода 19
з найбільш поширеними електрохімічними та
оптичними аналітичними методами**

Метод	Межа визначення, моль/л
Молекулярна адсорбційна спектрофотометрія	$10^{-4} \pm 10^{-6}$
Молекулярна флуоресцентна спектрофотометрія	$10^{-4} \pm 10^{-6}$
Атомна адсорбційна спектрофотометрія	$10^{-6} \pm 10^{-7}$
Молекулярна флуоресцентна спектрофотометрія	$10^{-6} \pm 10^{-7}$
Оптична та атомно-емісійна спектрометрія	$\sim 10^{-8}$
Потенціометрія з іонселективними електродами (іонометрія)	$10^{-4} \pm 10^{-6}$
Постійно-струмова полярографія	$10^{-5} \pm 10^{-6}$
Квадратно-хвильова та диференціальна імпульсна полярографія	$10^{-7} \pm 10^{-8}$
Анодна інверсійна вольтамперометрія з ртутним електродом типу "вісяча капля"	$10^{-7} \pm 10^{-8}$
Анодна інверсійна вольтамперометрія з твердими або ртутними плівковими електродами	$\sim 10^{-8}$
Електрохемілюмінесцентний метод на основі електрода модифікованого органічним люмінофором	$\sim 10^{-7}$
Оптичний метод на основі електрода модифікованого квантово-розмірними структурами	$\sim 10^{-10}$

20

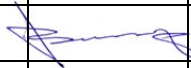

Висновки

У роботі вирішена науково-практична задача у галузі приладобудування та нанотехнологій – розробка та дослідження оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах. Використання квантових точок як детекторів націлено на зниження межі визначення та підвищення швидкості аналізу та мініятуризації оптичного пристрою та його детектора – двохелектродної комірки.

Обґрунтовано доцільність використання люмінесціюючих напівпровідникових квантових точок як основних елементів оптичного пристрою за рахунок їх специфічних фізико-хімічних властивостей, що зумовлює їх переваги у порівнянні з органічними люмінофорами.

Проаналізовано фізичну модель процесу неоптичного збудження КТ у системах з речовиною аналітом, що полягає у міжмолекулярному переносі електрона між аніон-радикалом аналіта та катіон-радикалом квантової точки, в результаті чого квантова точка збуджується з подальшим випромінюванням кванта світла – оптичного сигналу розробленим пристроєм.

Проведено математичний аналіз процесів, які виникають у вимірювальному каналі оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах, з метою оцінки інструментальних похибок аналізу.

	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.		Логунов			ГЮІК 947157.000 ПЗ	
Перев.		Грицунов				
Н. контр.		Шевченко			МНПм-22-1	Аркуш 10
Затв.		Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів



Висновки

Розроблено структурну схему автоматизованого оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах та описано принцип роботи його модулів під час проведення аналізу.

Розроблено конструкцію нанотехнологічної двохелектродної комірки на основі КТ, яка є детекторним елементом (первинним перетворювачем) оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах.

Проведено дослідження роботи нанотехнологічної двохелектродної комірки на модельних зразках.

Здійснено статистичну обробку отриманих даних з використанням методу регресійного аналізу. Побудовано градувальний графік. За градувальним графіком розраховано межу виявлення та межу визначення, які дорівнюють $0,53 \cdot 10^{-10}$ моль/л та $1,58 \cdot 10^{-10}$ моль/л відповідно. Таким чином межа визначення даного методу в порівнянні з відомими оптичними та електрохімічними методами знижується майже на два порядки, що дозволяє визначати надмалі концентрації органічних речовин у рідких середовищах, зокрема водних розчинах біологічних рідин та об'єктів довкілля.

Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження нанотехнологічного оптичного пристрою для визначення органічних речовин у рідких середовищах	
Розроб.	Логунов			ГЮІК 947157.000 ПЗ	
Перев.	Грицунов				
Н. контр.	Шевченко			МНПм-22-1	Аркуш 11
Затв.	Бондаренко			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів