

УДК 620.3:502/504

О.А. Сушко, М.М. Рожицький

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ОПТИЧНИЙ СЕНСОР НА ОСНОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КВАНТОВО-РОЗМІРНИХ СТРУКТУР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНДЕНСОВАНОЇ АРОМАТИКИ У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ ДОВКІЛЛЯ

В роботі представлений огляд існуючих фізико-хімічних сенсорів, що використовуються для визначення хімічних органічних канцерогенів у водних об'єктах довкілля. Особлива увага приділяється оптичним сенсорам, до складу яких входять наноматеріали, так звані нанофотонні сенсори. Описані принципи роботи, побудови та застосування розробленого нанофотонного сенсора для визначення конденсованої ароматики – поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) у водних об'єктах навколишнього середовища на прикладі одного з найбільш шкідливих представників класу ПАВ – 3,4-бензо[а]пірену. Перевагами розробки є простота і дешевизна конструкції, експресність аналізу, низька межа виявлення, висока селективність та можливість автоматизації аналізу, обробки, збереження та накопичення інформації, що обумовлює можливість її застосування в екології, медицині та фармації.

**Ключові слова:** інформаційна система, оптичний сенсор, нанофотоніка, напівпровідникові квантово-розмірні структури, поліциклічні ароматичні вуглеводні, 3,4-бензо[а]пірен.

### Вступ

Бензо[а]пірен (БП) був відкритий в 1933 р. як канцерогенний компонент сажі та смоли, дослідження, що підтвердили його канцерогенність, проведені ще в 1935 р. онкологом академіком Л.М. Шабадом. БП відноситься до поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) – групи канцерогенних, тобто здібних викликати рак, речовин. По його рівню судять про загальний рівень забруднення продуктів різноманітними ПАВ та онкогенній небезпеці для людини. Вчені вважають, що причиною практично 75 % ракових захворювань є канцерогенні хімічні сполуки, які ми споживаємо з продуктами харчування та водою.

Drinking Water Directive визначила гранично допустиму концентрацію (ГДК) для БП, яка становить 0,010 мг/л [1].

В Україні 16.07.2010 року було оприлюднено Наказ Міністерства охорони здоров'я № 400 від 12.05.2010 р., яким затверджено нові Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-400-10). Згідно якого, показник ГДК БП для питної водопровідної води 0,005 мг/дм<sup>3</sup> [2].

Для визначення ПАВ при екологічному моніторингу та в аналітиці використовують ряд традиційних методів, серед яких хроматографічні [3], імунохімічні та біологічні методи [4]. Наведені методи мають ряд спільних недоліків, таких, як значна складність та вартість обладнання, тривалість процесів прободготовки та аналізу, висока межа визначення аналіту в досліджуваному зразку, низька селективність. У зв'язку з вищесказаним, виникає гостра необхідність у

створенні портативних, економічно та експлуатаційно привабливих засобів з низькою межею визначення та високою селективністю визначення ПАВ у водних об'єктах навколишнього середовища.

Розробка нових детекторних пристроїв – сенсорів, спроможних виявляти речовини в наднизьких концентраціях, має пріоритетне значення для хімічної, нафтопереробної та фармацевтичної промисловості, екології, медицини та ін.

### Класифікація фізико-хімічних сенсорів (ФХС)

При систематизації сенсорів часто розглядають принцип їх дії, який може бути обумовлений фізичними та хімічними явищами та властивостями (рис. 1) [5].

Енергетичні властивості вхідних величин сенсорів дозволяють розділити їх на активні і пасивні. В активних сенсорах вхідні величини мають енергетичну природу (напруга, сила і т. д.), у пасивних вхідні величини мають неенергетичний характер (електричні ємність, опір тощо.).

За кількістю перетворюваних величин, що сприймаються сенсором, виділяють одномірні сенсори, які оперують з однією величиною, і багатовимірні, що сприймають декілька вхідних величин. При цьому багатовимірні сенсори в силу своєї багатифункціональності можуть мати спільні елементи і тому мати простіший склад та кращі економічні показники аніж у сукупності одновимірних сенсорів, що детектують стільки ж величин.

За кількістю виконуваних функцій можна виділити однофункціональні та багатифункціональні сенсори. Останні можуть крім основної функції (де-

тектування сигналу) виконувати ряд додаткових функцій (обробка даних і фільтрація, корекція похибок, зберігання сигналів).

За кількістю етапів перетворень енергії і речовини сенсори можна розділити на одноступінчасті і багатоступінчасті [6].

За технологією виготовлення сенсори можна розділити на елементні, що виготовляються з набору окремих елементів, і інтегральні, в яких всі складові елементи сенсора виготовляються одночасно за інтегральною технологією [5].

За взаємодією з джерелами інформації сенсори поділяються на контактні і безконтактні (дистанційної дії) [6].

За видом вимірювальних сигналів сенсори поділяються на аналогові і цифрові. В даний час існує тенденція збільшення числа і ускладнення функцій, що виконують сенсори. Особливо це характерно для інтегральних сенсорів, які можуть включати в свій склад додаткові пристрої. Такі сенсори здатні служити основою для створення вимірювальних систем, що дозволяють здійснювати збір, обробку, збереження і розподіл інформації [5, 6].

До сучасних сенсорів пред'являються наступні основні вимоги:

– високі якісні характеристики: чутливість, селективність, точність, лінійність, відтворюваність

показань, швидкість відгуку, взаємозамінність і необхідне співвідношення сигнал-шум;

– висока надійність: тривалий термін служби, стійкість до змін в зовнішньому середовищі, безвідмовність в роботі;

– технологічність: малі габарити і маса, простота конструкції, інтегральне виконання, низька собівартість [7].

До складу ФХС, що використовуються для дослідження якісного та/або кількісного складу газових або рідких середовищ, входять два основних компонента – детекторна речовина та реєстратор. Детекторна речовина (скорочено детектор) може бути розташований в об'ємі чарунки сенсора, або зафіксований на підкладці робочої поверхні всередині сенсора. Детектор формує селективний якісний та кількісний відгук на аналіт, що визначають. Він може бути фізичної або хімічної природи, в залежності від типу взаємодій з ним аналіта. Реєстратор – це пристрій, що вимірює зміни у детекторі сенсора завдяки взаємодіям (реакціям) з аналітом (речовиною, яку визначають). Загальна схема функціонування ФХС зображена на рис. 1.

В залежності від характеру відгуку (аналітичного сигналу), що виникає в детекторі ФХС, їх поділяють на такі типи: електрохімічні, електричні, магнітні, термометричні, оптичні, біосенсори, тощо.



Рис. 1. Функціональна схема вимірювань за допомогою фізико-хімічного сенсора

Оптичні ФХС є однією з найважливіших категорій ФХС. В залежності від типу оптичних сенсорів їх дія заснована на принципах [8, 9]: поглинання світла (абсорбція), відбиття, розсіювання первинного (падаючого) світлового потоку, поляризації, люмінесценції. При цьому використовуються залежності оптичних властивостей середовищ (коефіцієнтів поглинання, заломлення, відбиття та ін) від концентрації аналіту.

У роботі розглянуто механізми процесів та принципи побудови оптичного ФХС з використанням нанотехнологій для визначення конденсованої ароматики в водних об'єктах довкілля.

### Оптичний сенсор на основі напівпровідникових квантово-розмірних структур: конструкція та принцип роботи

Зважаючи на характер відгуку, що виникає в детекторному шарі сенсору, до оптичних сенсорів

можна віднести розроблений нами нанофотонний сенсор на основі квантово-розмірних детекторних структур для визначення ПАВ у водних об'єктах довкілля. Далі більш детально розглянемо його конструкцію та принцип роботи.

Принципи нанофотоники реалізуються в даному пристрої шляхом застосування впорядкованих мономолекулярних шарів напівпровідникових КТ типу  $CdTe$ , що наносяться методом Лангмюра-Блоджетт (ЛБ) на робочий електрод сенсора. Базовими принципами нанофотоники є просторове обмеження на нанорівні взаємодії фотонів та електронів, що знаходяться у квантовому об'єкті. Вирішення цієї задачі здійснюється за допомогою відповідних рівнянь Шредінгера зі знаходженням хвильових функцій та значення енергії квантової системи.

Нанофотонний сенсор в якості детекторних елементів містить впорядковані моношари наноматеріалів, які наносяться за допомогою метода ЛБ

[10, 11]. Наноматеріали представляють собою напівпровідникові квантові точки (КТ) типу CdTe.

Головними перевагами КТ при їх застосуванні як детекторів у порівнянні з органічними люмінофорами є їх фотохімічна стабільність, вузький спектр випромінювання, оптичне та неоптичне (при рекомбінації носіїв заряду) збудження, високі квантовий вихід та інтенсивність люмінесценції, залежність спектра люмінесценції від розмірів КТ. Зі зменшенням розмірів ядра КТ максимум довжини хвиль поглинання та випромінювання становляться менше [12]. Таким чином, змінюючи радіус ядра КТ, можна переналаштовувати не тільки довжину хвилі випромінювання, але й визначати інші аналіти.

Для КТ, як і для більшості органічних молекул, характерні процеси окиснення та відновлення. Електрохімія розчинених у відповідному розчиннику КТ засновується на переносі заряду (електрона) між електродом та КТ з утворенням заряджених часток, аналогічних іон-радикалам органічних молекул.

Коли потенціал електрода становиться негативним, електрони інжектуються в зону провідності ( $E_c$ ) КТ, перетворюючи їх в аніон-радикали. Аналогічно, при позитивному заряді електрода електрони з відповідного заповненого рівня енергії валентної зони КТ переходять до електроду, утворюючи дірки в валентній зоні ( $E_v$ ), тим самим перетворюючи КТ у катіон-радикал. Електрохімічні реакції, що протікають в сенсорному пристрої, характеризуються переносом електрона від донора до акцептора електрона. Такий перенос електронів слід розглядати як перехід електронів між молекулярними орбіталями (рис. 2).

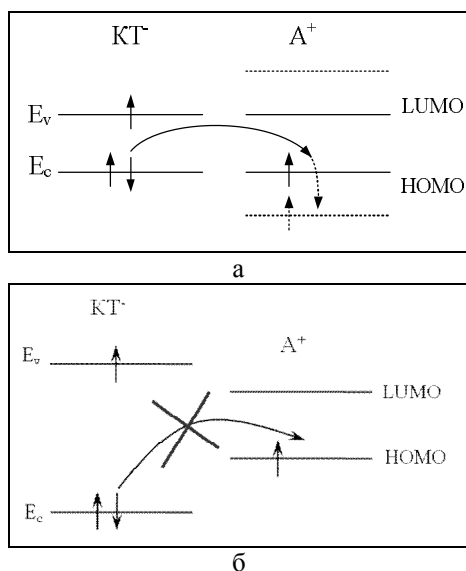


Рис. 2. Схема реакції переносу електрона між аніоном  $КТ^-$  та катіоном аналіту  $A^+$ : а – можливі варіанти реакції; б – неможливий варіант реакції

Перенос електрона між іонними формами реагуючих речовин буде проходити в тому випадку, якщо ширина забороненої зони КТ буде рівною або

меншою за різницю між граничними орбіталями молекули ПАВ. Таким чином суттєво підвищується селективність аналізу.

Рекомбінація аніон- та катіон-радикалів даної КТ може привести до утворення електрон-збудженого стану  $КТ^*$ , випромінювальна дезактивація котрого представляє оптичний аналітичний сигнал сенсора.

Для коректного вибору розміру КТ можна скористатися квантово-механічним методом розрахунку, використовуючи напівемпіричний розширений метод Хартрі-Фока за допомогою математичних та квантово-хімічних програм, таких як Gamess 6.0.

Розроблений нанофотонний сенсорний пристрій представляє собою проточну ячейку з двома електродами – робочим та допоміжним [13].

Робочий електрод представляє оптично прозору скляну підкладку, яка для забезпечення електропровідності модифікована прозорим струмопровідним покриттям  $In_2O_3$ . На останнє наносять впорядкований мономолекулярний шар за допомогою метода ЛБ напівпровідникових КТ.

Вибір прозорої підкладки пояснюється необхідністю реєстрації оптичного аналітичного сигналу фотоелектронним помножувачем, що стикається з зовнішньою поверхнею робочого електрода або безпосередньо, або за допомогою світловоду та технологією виготовлення сенсорного модуля.

Метод ЛБ – технологія отримання упорядкованих моно- або мультимолекулярних шарів часток шляхом переносу на поверхню твердої підкладки з контрольованою товщиною, щільністю структури та необхідною адгезією моношарів амфільних сполук.

Для створення нанофотонного сенсора розчин наночасток розміщують на поверхні фази повітря/вода ЛБ ванни (рис. 3, а).

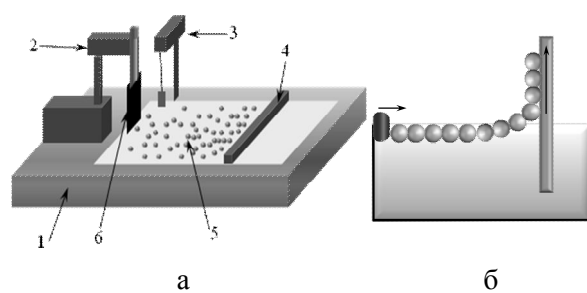


Рис. 3. Метод Лангмюра-Блоджетт: а – схема формування мономолекулярного шару в ЛБ ванні: 1 – ЛБ ванна; 2 – механізм опускання підкладки; 3 – ваги Вільгельмі; 4 - плаваючий бар'єр; 5 – розчин КТ на поверхні бідистильованої води; 6 – твердотільна підкладка; б – нанесення часток на підкладку методом ЛБ

Після формування впорядкованої щільноупорядкованої структури, в залежності від отриманої плівки (гідрофобної чи гідрофільної) відбувається переміщення підкладки в водну фазу чи з неї (рис. 3 а, б).

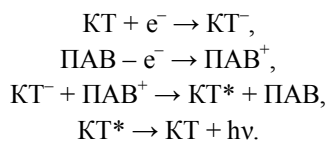
В результаті відбувається формування плівки, міцно зв'язаної з поверхнею підкладки [14].

Модифікація робочого електрода КТ не лише значно зменшує кількість витратних реагентів, але й дає можливість багаторазового використання сенсорного пристрою.

При проведенні аналітичних досліджень у водному зразку може знаходитися сукупність різноманітних молекул, які можуть вступати в реакцію з детектором, що перешкоджають аналізу. Для підвищення селективності хімічної реакції у сенсорах даного типу необхідно отримати інформацію про енергії граничних молекулярних орбіталей часток детектора та аналіта. Донор (КТ) з найбільшою енергією вищої заповненої молекулярної орбіталі (НОМО) буде легше віддавати електрони партнеру реакції (аналіту). Аналіт (ПАВ) з нижньою незаповненою молекулярною орбіталлю (ЛУМО) повинен легше приймати електрони [13].

У нанофотонному пристрої закріплені на робочому електроді КТ є детекторними елементами ПАВ.

Процес, що протікає у нанофотонному сенсорному пристрої з оптичним аналітичним сигналом, можна описати за допомогою таких реакцій:



Тоді механізм світловипромінюючих процесів у нанофотонному сенсорі може бути представлений наступною схемою (рис. 4):

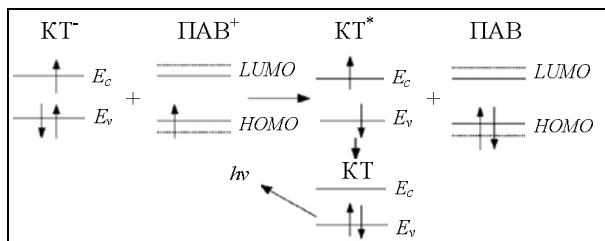


Рис. 4. Схема процесу електрохемілюмінесцентного (ЕХЛ) визначення ПАВ у водному середовищі

При подачі напруги на електроди відбувається перенос електронів між електродом та відповідними молекулами з утворенням іон-радикалів молекули-аналіту  $\text{ПАВ}^+$  на противоелектроді, а також іон-радикалів  $\text{КТ}^-$ , адсорбованих на робочому електроді нанофотонного сенсора.

В результаті цього, катіони  $\text{ПАВ}^+$  дифундують до адсорбованих  $\text{КТ}^-$  і вступають з ними у взаємодію. Результатом реакції є утворення синглет-збудженої форми  $\text{КТ}^*$  у випадку випромінювання кванта світла  $h\nu$ . Іон-радикали  $\text{ПАВ}$  повертаються в основний незаряджений стан та знову переміщуються в напрямку допоміжного електрода (рис. 4).

Якщо ми маємо суміш, яка складається з ПАВ та інших перешкоджаючих аналізу компонентів,

вибір квантової точки заснований на наступному принципі, схематично зображеному на рис. 3 [15].

Число квантів, випромінених за визначений час  $t$ , є мірою вмісту аналізу [16]:

$$\int_0^t I_{\text{ехл}}(t) dt = f(c_a),$$

де  $I_{\text{ехл}}$  - інтенсивність випромінювання;  $c_a$  - концентрація аналіту в зразку.

Звідки за допомогою попередньо побудованих градуированих графіків  $I = f(c_a)$  кількісно визначають вміст аналіту, що і характеризує сутність нанофотонного метода детектування.

Сформований таким чином сенсор має мініатюрні розміри, володіє високою селективністю та низькою межею визначення.

На рис. 5 представлена конструкція запропонованого нанофотонного сенсора для визначення ПАВ у водних об'єктах навколишнього середовища [14].

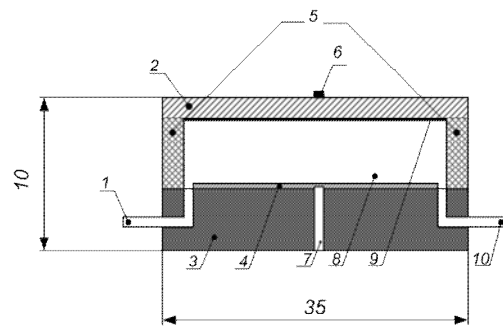


Рис. 5 – Конструкція нанофотонного сенсорного пристрою: 1 – ввід пробки; 2 – робочий ІТО-електрод; 3 – підкладка; 4 – противоелектрод; 5 – ущільнювальна прокладка; 6, 7 – клеми для підключення робочого та допоміжного електродів; 8 – робоча камера; 9 – моношари КТ (детекторний елемент), 10 – вивід пробки

В якості реєстратора сигналу люмінесценції нанофотонного сенсора використовується фотоелектронний помножувач Hamamatsu H5784-20, розташований ззовні сенсора. Прокачування розчину через нанофотонний сенсор може здійснюватися безперервно або ж на час аналізу прокачування пробки може припинятися; після чого пробка видаляється з робочої області сенсора промиванням буферним розчином [17]. Ця обставина обумовлює відтворюваність проведення аналізу в сенсорі, що також є відмінною характеристикою даної конструкції [18].

Слід зупинитися на тій обставині, що під час проведення аналізу фактично не відбувається витрата детекторних речовин (КТ), оскільки вони зафіксовані на електроді. З цієї причини проведений аналіз стає більш економічним та екологічно дружнім (не вимиваються під час промивання достатньо токсичні елементи детекторного шару), що є актуальним на сьогоднішній день.

## Функціональна схема інформаційної системи для отримання та обробки аналітичної інформації на основі нанофотонного сенсора

Інформаційна система (ІС) для отримання та обробки аналітичної інформації (рис. 6) базується на основі нанофотонного сенсора, який відіграє ключову роль детектора в даній системі. Метою функціонування ІС є отримання інформації про об'єкт дослідження, в даному випадку кількісної оцінки наявності БП у відібраних зразках води.

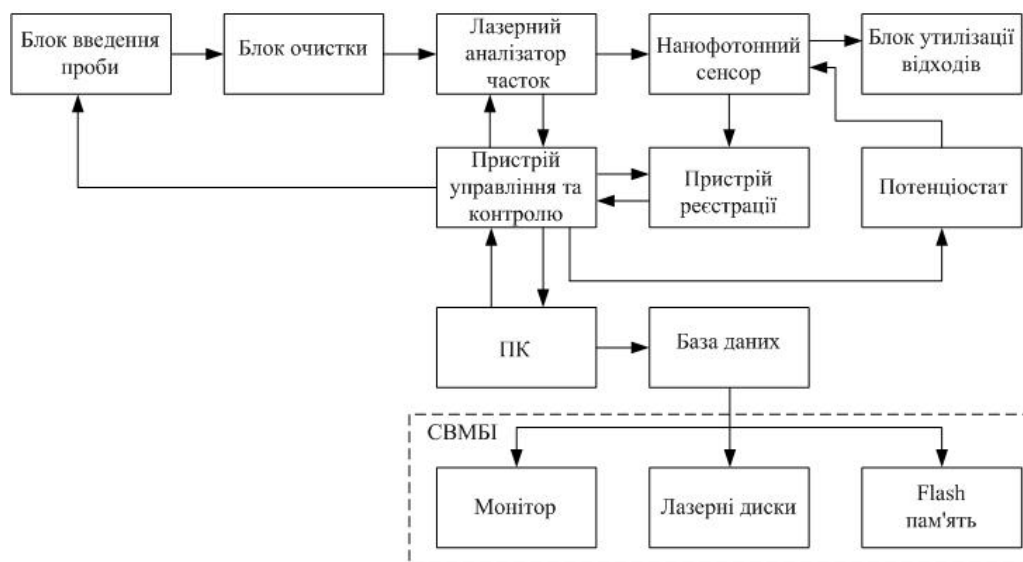


Рис. 6. Схема інформаційної системи для отримання та обробки аналітичної інформації

Виявлення даної залежності необхідне на етапі побудови калібровочної кривої при дослідженні модельних (стандартних) зразків з відомим вмістом речовини, що визначається. Залежність фотоструму пристрою реєстрації – фотоелектронного помножувача від концентрації аналіту дозволяє отримати калібровочний графік.

Після проведення аналізу проба виводиться з системи і при необхідності утилізується в пристрої утилізації. Фотострум з пристрою реєстрації потрапляє на пристрій управління та обробки інформації, що керує роботою фотоелектронного помножувача і є пристроєм спряження даної системи з персональним комп'ютером (ПК). Далі інформація обробляється, накопичується та зберігається у вигляді баз даних, які є доступними для користувача за допомогою систем виводу медико-біологічної інформації (СВМБІ) – монітор, лазерні диски, Flash пам'ять, тощо.

### Висновки

У даній роботі розглянуті механізми процесів та принципи побудови оптичного сенсора на основі напівпровідникових квантово-розмірних структур для вимірювання вмісту конденсованої ароматики в об'єктах навколишнього середовища.

Проба проходить етапи очистки та доставляється пристроєм вводу в нанофотонний сенсор, де проводиться аналіз. Для цього на електроди сенсора подається електричний сигнал через пристрій електрохімічного збудження – електрохімічний потенціостат, який є необхідним для проведення електрохімічних реакцій. Оскільки швидкість реакції однозначно визначається концентрацією реагуючих речовин та контролюється потенціалами окислення та відновлення речовин, існує чітка залежність між кількістю фотонів, що реєструють, та концентрацією речовини-аналіту.

Позитивними якостями розробки є простота та дешевизна конструкції, експресність аналізу (близько 10 хв. з пробопідготовкою), низька межа визначення ( $0,1 \pm 0,2$  нг/мл), висока селективність та можливість автоматизації аналізу.

**Робота виконана в рамках проекту УНТЦ № 5067 «Розробка новітніх нанофотонних технологій та пристроїв для детектування небезпечних та токсичних органічних сполук у водних об'єктах навколишнього середовища» (керівник проекту – Рожицький М.М.)**

### Список літератури

1. Council Directive 98/93/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption : Official Journal of the European Communities. – 5.12.1998. – P. L330/32–54.
2. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. – [Затверджено Наказ N 400 МОЗУ 12.05.2010, Чинний від 1.07.2010].- К. : Міністерство охорони здоров'я України 2010. – 28 с.
3. Шатц В.Д. Высокоэффективная жидкостная хроматография: Основы теории. Методология. Применение в лекарственной химии / В.Д. Шатц, О.В. Сахартова. – Рига : Зинатне, – 1988. – 390 с.
4. Павлович С.А. Основы иммунологии: учебн. [для

студ. высш. уч. завед.] / С.А. Павлович. – Минск : Вышэйшая школа, 1997. – 115 с.

5. Како Н. Датчики и микро-ЭВМ / Н. Како, Я. Яманэ; [пер. с япон.]. – Л.: Энергоатмиздат. Ленингр. отделение, 1986. – 120 с.

6. Egorov A.A. Integrated-optical low-loss PbO<sub>2</sub> diffusion waveguide sensitive chemical sensor / A.A. Egorov, M.A. Egorov, R.B. Smoliakov, T.K. Chekhlova, A.G. Timakin // *Journal of Radio Electronics*. – 2007. – № 5.

7. Егоров А.А. Химические сенсоры: классификация, принципы работы, области применения / А.А. Егоров, М.А. Егоров, Ю.И. Царева // *Ел. Ж. Физико-химическая кинетика в газовой динамике*. – 2008. – № 01 (14). – С. 001–017.

8. Whitenett G. Optical fibre instrumentation for environmental monitoring applications / G. Whitenett, G. Stewart, K. Atherton, B. Culshaw, W. Johnstone // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* – 2003. – № 5. – P. S140–S145.

9. Хансперджер Р. Интегральная оптика: Теория и технология / Р. Хансперджер. – М.: Мир, 1985. – 384 с.

10. Нанопотонний сенсор для визначення слідових концентрацій органічних канцерогенів в водних розчинах: матеріали XVII Міжнарод. молодіжного форуму [Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке], (Харьков, 22–24 апреля 2013) / – X. ХНУРЕ, 2013. – Т. 1. – С. 226–227.

11. Aqueous ECL from water-insoluble organic luminophors incorporated into Langmuir-Blodgett films on the electrode: 3rd ECHEMS Meeting: Electrochemistry [Nanosystems and Molecules at Work]. – Třešť, Czech Republic, 2007. – P. 23.

12. Електрохімічні та електрохемілюмінесцентні дослідження нанорозмірних частинок типу CdTe у водних розчинах: сб матеріалов 3-го Міжнарод. радіоелектронного форуму [Прикладная электроника. Состояние и перспективы развития], (Харьков, 22-24 октября 2008 г.). – X.: ХНУРЕ, 2008. – Т. 4. – С. 310–312.

13. Сушко О.А. Нанопотонний метод визначення органічних канцерогенів у водних середовищах / О.А. Суш-

ко, М.М. Рожицький // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2012. – №1/5(55). – С. 40–46.

14. Жолудов Ю.Т. Электрохемилуминесцентные свойства органических пленок с внедренными углеродными нанотрубками / Ю.Т. Жолудов, Е.М. Белаи, Н.Н. Рожицкий // *Журнал нано- та електронної фізики*. – 2012. – Т.4, № 1. – С. 02030-1-4.

15. Sensor based on semiconductor nanostructures for polycyclic aromatic hydrocarbons detection in water objects: program and book abstracts of 12<sup>th</sup> Topical Meeting of the ISE and XXI International Symposium on Bioelectrochemistry and Bioenergetics of the Bioelectrochemical Society [Bioelectrochemistry 2013], (Bochum, 17-21 March 2013) / Bochum, Germany: ISE & BES, 2013. – P. 311(S5-034).

16. Сенсор на основі напівпровідникових наноструктур для вимірювання вмісту органічних канцерогенів у об'єктах навколишнього середовища: Сб. науч. трудов V Міжнарод. науч. конф. [Функциональная база нанoeлектроники] / Харьков - Кацивели: ХНУРЕ, 2012. – С. 429–432.

17. Zholudov Y. Aqueous electrochemiluminescence of polycyclic aromatic hydrocarbons immobilized into Langmuir-Blodgett film at the electrode / Y. Zholudov, D. Snizhko, A. Kukoba, H. Bilash, M. Rozhitskii // *Electrochimica Acta*. – 2008. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 360–363.

18. Sushko O.A. Detection of organic carcinogens in water by nanophotonic method / O.A. Sushko, O.M. Bilash, M.M. Rozhitskii // *Official Journal of the European Platform for Photodynamic Medicine*, 2012. – Vol. 9 (Supplement 1), 2012 International Congress Helsinki, Finland, S 39.

Надійшла до редколегії 2.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Прасол, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## СЕНСОР НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОЙ АРОМАТИКИ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

О.А. Сушко, Н.Н. Рожицкий

В работе представлен обзор существующих физико-химических сенсоров, используемых для определения химических органических канцерогенов в водных объектах окружающей среды. Особое внимание уделяется оптическим сенсорам, в состав которых входят наноматериалы, так называемым нанопотонным сенсорам. Описаны принципы работы, построения и применения разработанного нанопотонного сенсора для определения конденсированной ароматики – полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в водных объектах окружающей среды на примере одного из наиболее более вредных представителей класса ПАУ – 3,4-бензо[а]пирена. Преимуществами разработки является простота и дешевизна конструкции, экспрессность анализа, низкий предел обнаружения, высокая селективность и возможность автоматизации анализа, обработки, хранения и накопления информации, что обуславливает возможность ее применения в экологии, медицине и фармации.

**Ключевые слова:** информационная система, оптический сенсор, нанопотоника, полупроводниковые квантово-размерные структуры, полициклические ароматические углеводороды, 3,4-бензо[а]пирен.

## SENSOR BASED ON SEMICONDUCTOR QUANTUM-SIZE STRUCTURES FOR CONDENSED AROMATICS DETECTION IN ENVIRONMENTAL WATER OBJECTS

O.A. Sushko, M.M. Rozhitskii

The paper presents a brief overview of physical-chemical sensors used for carcinogenic compounds detection in water objects. Particular attention is paid to optical sensors which are based on nanomaterials and called nanophotonic sensors. We describe the principles of operation, construction and application of the proposed nanophotonic sensor for the determination of organic carcinogens such as 3,4-benzo[a]pyrene which is one of the most harmful from PAHs in aqueous solutions. The advantage of device is the simplicity and low cost, express method of analysis, low detection limit. High selectivity and the ability to automate analysis, processing, preservation and storage of the information makes possible its use in the environment, medicine and pharmacy.

**Keywords:** information system, optical sensor, nanophotonics, semiconductor quantum-dimension structures, polycyclic aromatic hydrocarbons, 3,4-benzo[a]pyrene.