

УДК 539.23, 539.25

І.І. Трикур¹, І.І. Сакалош¹, Г.Т. Горват¹, М.Ю. Січка¹, С.О. Корпош²,
Й.П. Шаркань¹, В.М. Різак¹

¹Ужгородський національний університет, Україна, 88000, Ужгород, вул. Підгірна, 46
e-mail: shark@univ.uzhgorod.ua

²Кітакюський університет, Японія

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКОМПОЗИТНИХ ПЛІВКОВИХ СТРУКТУР ЗОЛЬ-ГЕЛЬНА SiO₂ МАТРИЦЯ – БАКТЕРІОРОДОПСИН – КВАНТОВІ ТОЧКИ CdSe/ZnS

Робота присвячена дослідженню можливості застосування нанокompозитних плівок бактеріородопсину (БР) в золь-гельній матриці з впровадженими квантовими точками типу CdSe/ZnS в якості чутливих елементів хімічних сенсорів. У даній роботі проведено порівняльне дослідження ефективності збудження люмінесценції квантових точок в таких нанокompозитних плівкових структурах з допомогою випромінювання різного спектрального складу. Крім того, проведено дослідження впливу вологості та аміаку на характеристики плівок *золь-гельна SiO₂ матриця – бактеріородопсин - квантові точки CdSe/ZnS*. Результати дослідження підтвердили, що люмінесцентне випромінювання квантових точок може запускати фотоцикл, а контролюючи інтенсивність люмінесцентного випромінювання, ми можемо стежити за змінами в протіканні фотоциклу, що, в свою чергу, дає можливість контролю наявності та концентрації деяких речовин у навколишньому середовищі.

Ключові слова: бактеріородопсин, квантові точки, хімічний датчик, золь-гельне скло.

Вступ

Нанокompозитні структури на основі бактеріородопсину (БР), оптичні характеристики якого змінюються під дією певних хімічних речовин присутніх у середовищі, можуть ефективно використовуватися для створення різного роду хімічних біосенсорів [1]. Для даної мети можуть використовуватися як об'ємні, так і плівкові структури з використанням органічних або неорганічних матриць. Однак, для забезпечення високої чутливості елементів на основі таких матеріалів необхідна висока оптична якість зразків, а для запуску фотоциклу – додаткове джерело збуджуючого випромінювання. При використанні водорозчинних органічних матриць забезпечується достатня оптична якість плівок при відносно простій технології одержання. Для водонерозчинних золь-гельних матриць, які мають набагато

ширший спектр практичного використання, отримати оптично якісні плівки технологічно складно.

Введення в матеріали, які містять бактеріородопсин, напівпровідникових квантових точок з фото- або електролюмінесценцією, спектр випромінювання яких співпадає із смугою поглинання основного стану бактеріородопсину (570 нм), дає можливість створення принципово нового типу матеріалів. Такі структури містять в якості компонентів, як випромінювачі (квантові точки), так і фотодетектори (нанорозмірні фрагменти пурпурних мембран). Попередні дослідження показали, що введення квантових точок у плівки на основі бактеріородопсину не впливає на його функціональні характеристики [2-4], а люмінесцентне випромінювання квантових точок може запускати фотоцикл БР [5].

Таким чином, контролюючи спектральний склад та інтенсивність відбитого або люмінесцентного випромінювання, ми можемо зробити висновки про зміни у проходженні фотоциклу БР, які відбуваються під впливом оточуючого середовища. Така будова первинного перстворювача а також відсутність потреби у використанні додаткового джерела світла для запуску фотоциклу суттєво спрощує технологію отримання та обслуговування датчика, зменшує його вартість та покращує чутливість.

Методи і матеріали

Бактеріородопсин був виділений у формі пурпурних мембран (ПМ) (співвідношення БР:ліпіди = 3:1) з *Halobacterium salinarum* дикого штаму, вирощених в нашій лабораторії, згідно стандартних методик [6]. В якості прекурсорів для отримання золь-гельного скла використовували тетраетоксисилан TEOS (Флука, Швейцарія). Золь-гельне скло отримали, використовуючи дещо змінену методику, описану в роботі [7]. Використовуючи цей метод, 7 мл TEOS, 3 мл дистильованої води та 1 мл 0,04 М HCl перемішали разом та обробили ультразвуком протягом 20 хв. Одержаний у результаті продукт, розвели рівним об'ємом дистильованої води. 0,5 мл цього розчину змішали з 0,25 мл буферного розчину борнокислого натрію (рН 9) і 0,2 мл розчину БР (14 мг/мл) для отримання плівкоутворюючої суміші [3].

Для створення нанокмполімерних структур з квантовими точками були використані напівпровідникові квантові точки CdSe/ZnS виробництва фірми EVIDENT (США), стабілізовані в дистильованій воді за допомогою COOH-груп (емісійний пік – 576 нм) та амінами (емісійний пік – 575 нм). Концентрація квантових точок у воді складала 0,25 мг/мл [3]. Оскільки емісійні піки для обох видів квантових точок майже співпадають, а інтенсивність люмінесценції для квантових точок стабілізованих за допомогою COOH-груп у 3 рази вища (рис. 1), для досліджень ми використовували квантові точки стабілізовані за допомогою COOH-груп.

З практичної точки зору, збудження

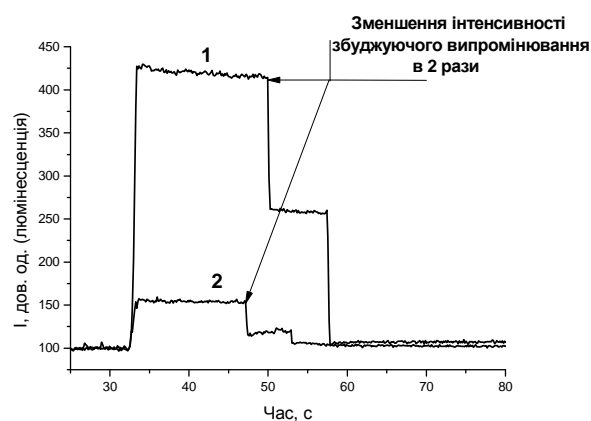


Рис. 1. Інтенсивність люмінесценції квантових точок стабілізованих амінами (2) та COOH-групами (1) на 570 нм при збудженні світлом з $\lambda = 380$ нм.

люмінесценції квантових точок найбільш зручно проводити за допомогою малогабаритних високоінтенсивних світлодіодів. Спектральна смуга для напівпровідникових світлодіодів досить вузька, що, при правильному підборі, попередить блокування проміжних переходів у фотоциклі. При виборі світлодіоду важливо також врахувати інтенсивність люмінесценції, яка збуджується його випромінюванням. Ми провели дослідження залежності інтенсивності люмінесценції квантових точок від інтенсивності збуджуючого випромінювання для світлодіодів з максимумами на 380, 395 та 450 нм. Результати приведені на рис. 2. Враховуючи особливості спектрів поглинання інтермедіатів фотоциклу, найбільш прийнятним є використання світлодіодів з максимумом випромінювання на 450 нм, оскільки жоден інтермедіат не поглинає в даній області спектру. Однак квантовий вихід при використанні таких світлодіодів значно нижчий, незважаючи на більш високу інтенсивність збуджуючого світла.

Максимальна інтенсивність люмінесценції спостерігається для світлодіода з максимумом на 380 нм. Враховуючи те що він достатньо віддалений по спектральній смузі від максимуму поглинання M_{412} , для подальших досліджень ми використовували збудження за допомогою даного світлодіода.

Доказом того, що люмінесценція квантових точок приводить до запуску фотоциклу можуть стати порівняння

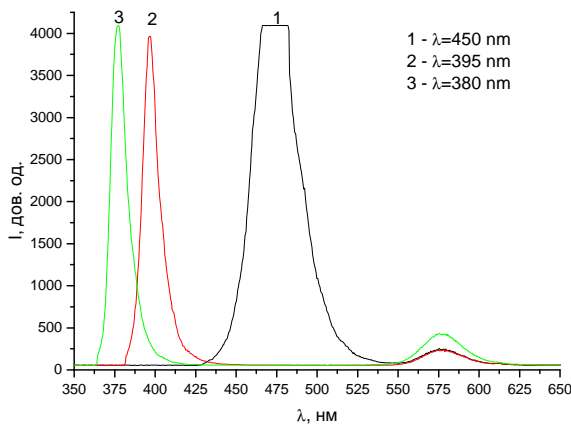


Рис. 2. Інтенсивність збуджуючого та фотолюмінесцентного випромінювання квантових точок у водному розчині при використанні світлодіодів з різними довжинами хвиль ($\lambda = 380, 395$ та 450 nm). Дослідження проводились за допомогою 400 мкм волоконно-оптичного Y-розгалужувача.

спектрів люмінесценції квантових точок у водних розчинах та плівкоутворюючій суміші при використанні різних джерел збуджуючого випромінювання. Результати такого дослідження наведено на рис. 3. Для проведення досліджень ми використали світлодіоди з максимумом на 395 nm (близький до максимуму поглинання M_{412}) та 450 nm (співпадає з точкою перегину в спектрі пропускання БР, в якій величина поглинання не залежить від освітлення). З попереднього рисунку видно, що квантовий вихід при збудженні світлом на 450 nm набагато менший. Аналогічний результат ми отримали і тут – для розчину квантових точок інтенсивність люмінесценції при збудженні на 395 nm майже в 2 рази більша. Однак при дослідженні люмінесценції плівкоутворюючої суміші, яка містить бактеріородопсин, спостерігається зовсім інша картина. Інтенсивність люмінесценції на 570 nm, при збудженні світлом з максимумом на 450 nm вдвічі більша ніж при збудженні на 395 nm.

Пояснити такі результати можна наступним чином. При дослідженні люмінесценції простого водного розчину ми фіксуємо випромінювання квантових точок практично неослаблене середовищем. Якщо у суспензії, крім квантових точок, присутні фрагменти пурпурних мембран, буде відбуватися послаблення

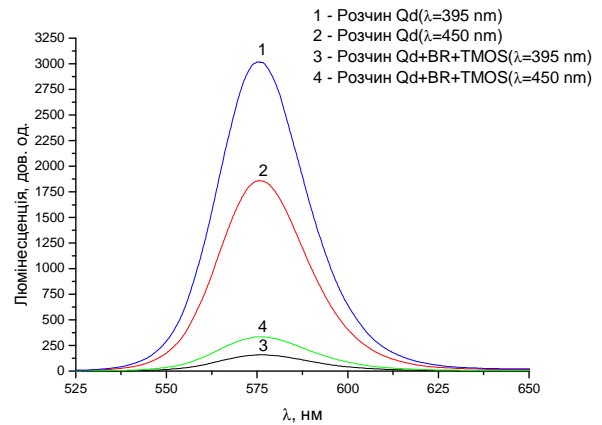


Рис. 3. Спектри люмінесценції водних розчинів квантових точок та плівкоутворюючих розчинів з БР та квантових точок при різних довжинах хвилі (395 та 450 nm) збуджуючого випромінювання.

фіксованої інтенсивності люмінесценції через поглинання люмінесцентного світла бактеріородопсином (смуга поглинання бактеріородопсину майже співпадає з максимумом люмінесценції квантових точок). Після поглинання кванту світла молекула бактеріородопсину проходить через ряд проміжних інтермедіатів, найбільше значення часу життя з яких має M_{412} (максимум поглинання на 412 nm), після чого повертається у вихідний стан. Тобто, при наявності зовнішньої засвітки встановлюється певна рівновага між основним станом БР $_{570}$ та інтермедіатом M_{412} , положення якої буде залежати від інтенсивності актинічного світла. Якщо в якості джерела випромінювання, збуджуючого люмінесценцію, використовувати світлодіод з максимумом на 450 nm, описана ситуація буде реалізовуватися на практиці. Якщо в якості джерела використовувати світлодіод з максимумом на 395 nm, то частина збуджуючого випромінювання буде поглинатися інтермедіатом M_{412} , переводячи його в основний стан. Тому інтенсивність люмінесценції на 570 nm буде меншою з двох причин: по-перше через поглинання люмінесцентного випромінювання бактеріородопсином, по-друге через ослаблення інтенсивності збуджуючого люмінесценцію випромінювання через поглинання проміжним інтермедіатом M_{412} . Саме таку ситуацію й описують результати приведені на рис. 3. Отримані результати чітко вказують на наявність фотоциклу в розчині БР під дією

фотолюмінесцентного випромінювання квантових напівпровідникових точок, що підтверджено іншими авторами [5]. При чому слід відмітити, що при використанні світлодіода з максимумом на 380 нм ефект зменшення часу життя M_{412} не спостерігається, що дозволяє використовувати такі світлодіоди в якості джерела для збудження люмінесценції квантових точок.

З практичної точки зору, найбільш зручним є використання плівок, нанесених на торець оптичного волокна. Для оптимізації технологічних умов одержання таких плівкових структур були виготовлені зразки при різних умовах. Одним з вирішальних параметрів, який відповідає за структуру та характеристики золь-гельних плівок, є швидкість висихання розчинника на етапі старіння золь-гелю. Тому ми провели дослідження впливу швидкості висушування на параметри плівок нанесених на торець волокна при різних умовах. Найбільша швидкість висихання забезпечувалась при вакуумній (ліофільній) сушці. В результаті були отримані покриття які мали порошкоподібну структуру, дуже слабку адгезію і велике розсіювання. Меншою була швидкість при висиханні плівок у відкритій кюветі і найбільш повільна в закритому ексикаторі. При висиханні в закритому ексикаторі утворювалась найбільш якісна однорідна плівкова структура на торці волокна. Спектри люмінесценції для отриманих зразків при різних швидкостях висушування приведені на рис. 4. Плівки наносилися на торець спільного каналу Y-розгалужувача (діаметр оптичного волокна 400 мкм), збудження фотолюмінесценції проводилось світлодіодом (довжина хвилі 380 нм) по одному каналу, реєстрація люмінесценції проводилась на іншому каналі за допомогою спектрофотометра.

Також було проведено порівняння інтенсивності люмінесценції квантових точок для плівок з різними матрицями (рис. 5). Плівки в желатиновій матриці оптично більш досконалі, а в неорганічній матриці наявні тріщини, які приводять до значного розсіювання.

Як видно, з одержаних результатів, при значних відмінностях у оптичній

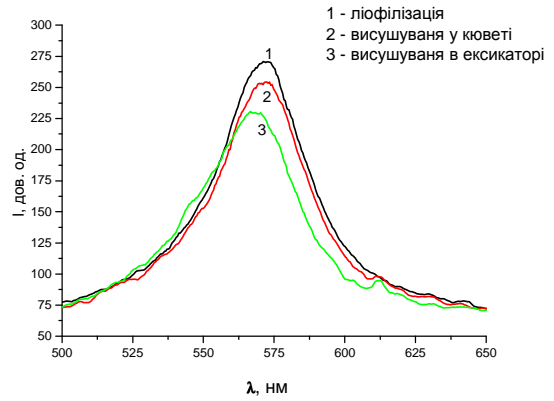


Рис. 4. Спектри люмінесценції для зразків на торці оптичного волокна при різних режимах висушування, довжина хвилі збуджуючого випромінювання 380 нм.

якості та механічних характеристиках, інтенсивність люмінесцентного випромінювання в нанокompозитних структурах не суттєво змінюється в залежності від технології отримання зразків та вибору матриці. Таким чином, можна зробити висновок, що оптична досконалість таких плівкових структур для сенсорів не є критичним параметром, що дає значну перевагу порівняно з сенсорами, в яких контроль характеристик чутливого середовища здійснюється за рахунок контролю змін пропускання, для чого необхідна висока оптична якість.

Для нанокompозитних структур золь-гельна SiO_2 матриця – БР – напівпровідникові квантові точки характерний рівномірний розподіл квантових точок по всьому об'єму нанокompозитної структури. Дослідження на AFM плівок в золь-гельній матриці з квантовими точками показало, що якість поверхні одержаних зразків не відрізняється від поверхні плівок, у яких ці точки відсутні. Отримані плівкові структури мають добре розвинуту мікрота мезопористу структуру. Сумарна площа поверхні для таких зразків на два порядки вища за аналогічний показник для полімерних матриць [3].

В якості джерела світла для дослідження фотоіндукованих змін поглинання та збудження люмінесценції використовували Ocean Optics LS-450 Blue LED Pulsed Light Source з можливістю використання

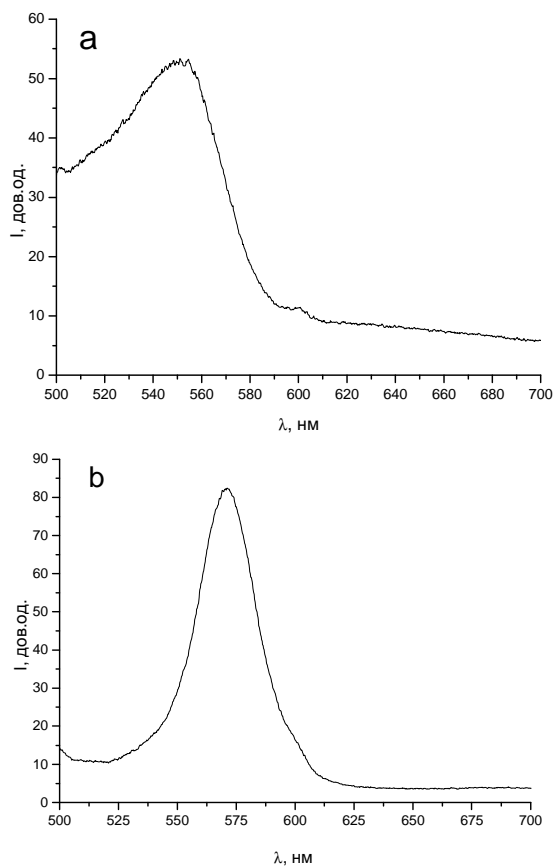


Рис. 5. Спектр люмінесценції плівки БР – напівпровідникові квантові точки в золь-гельній (а) та желатиновій (б) матрицях, отриманих методом поливу. Довжина хвилі збуджуючого випромінювання 380 нм.

світлодіодів із максимумами на різних довжинах хвиль та вольфрамову галогенну лампу з набором відповідних пропускаючих та відрізаючих світлофільтрів. Для дослідження спектральних характеристик використовувався волоконно-оптичний спектрофотометр HR 2000 Ocean Optics.

Для визначення впливу газів на оптичні властивості структур золь-гельна SiO_2 матриця – БР – напівпровідникові квантові точки була розроблена і створена спеціальна камера (рис. 6). Зразок з плівкою бактеріородопсину був розміщений всередині камери. Введення і виведення випромінювання було реалізовано за допомогою мультимодових кварцових оптичних волокон (Ocean Optics, QR1000-2-UV-VIS) з діаметром серцевини – 1 мм. Оптичні волокна, що знаходяться всередині камери, джерело оптичного випромінювання та спектрофотометр, розміщені ззовні камери, з'єднувались через вакуумні вікна (Ocean Optics VFT-600-UV-275). Для забезпечення відомих концентрацій аміаку

всередині камери використовувались газові балони, які містять азот з від каліброваними концентраціями аміаку (100 ppm, 1000 ppm, 0.1 % і 10 %). Для контролю потоку газу, що поступає в камеру використовувались датчики тиску. Отримання концентрацій аміаку менше ніж 100 ppm проводилося шляхом надлишкового постачання азотно-аміачної суміші в камеру. Контроль здійснювався за рахунок зростання тиску всередині камери, наприклад: надлишкове постачання газової суміші з концентрацією 100 ppm при збільшенні тиску на 0,1 атм задавало концентрацію в камері 10 ppm.

Зміни відносної вологості в межах 30÷90 % одержували шляхом розміщення відкритої ємності з водою всередині закритої камери. Контроль вологості всередині камери проводився в режимі реального часу за допомогою Gemini Data Logger “TINYtalk” з емнісним датчиком, яким можна визначити зміну відносної вологості в межах 0÷95 % з точністю ± 3 % при 25 °C і роздільною здатністю зчитування 0,5 %.

Результати і обговорення

З використанням описаної камери проведені дослідження впливу вологості та аміаку на нанокompatитні структури золь-гельна SiO_2 матриця – БР – напівпровідникові квантові точки, отримані з використанням різних технологічних умов. В даних дослідженнях реєструвалася зміна інтенсивності фотолюмінесцентного випромінювання квантових точок на 570 нм, яке збуджувалося світлодіодами.

Величина інтенсивності даного випромінювання залежить від ефективності його поглинання молекулами бактеріородопсину, які знаходяться в основному стані. В свою чергу кількість молекул БР, які знаходяться в основному стані, залежить від проходження фотоциклу, на перебіг якого впливають відповідні хімічні реагенти, в даному випадку вологість та аміак.

При дослідженні впливу вологості на характеристики плівок БР відносна вологість різко збільшувалась від 40 до

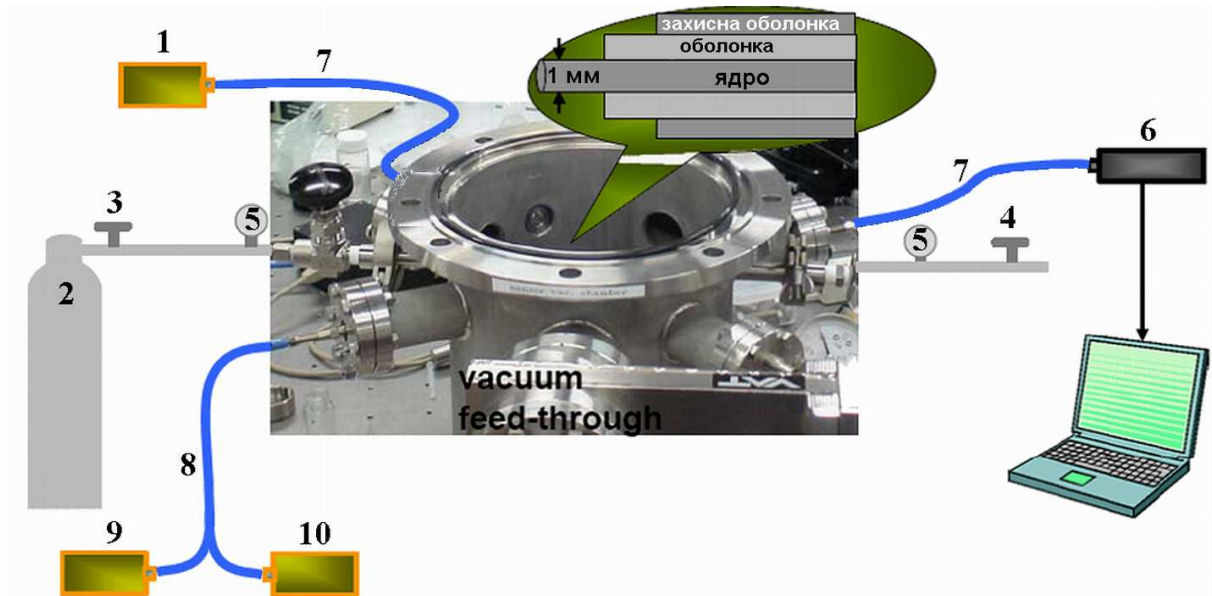


Рис. 6. Камера для дослідження впливу газових реагентів на параметри плівок. Об'єм камери - 7 л. 1 – джерело активуючого світла для фотозбудження фотоциклу бактеріородопсину; 2 – балон з аміачно-азотною сумішшю; 3 – впускний клапан; 4 – випускний клапан; 5 – манометр; 6 – спектрофотометр; 7 – оптичне волокно; 8 – оптичне волокно з Y-подібним розгалужувачом; 9 - світлодіод; 10 – джерело оптичного випромінювання. На вкладці вказана структура оптичного волокна.

100 % на протязі 2 с напуском в камеру водяної пари. Після досягнення максимальних змін інтенсивності люмінесценції, які відбуваються за рахунок збільшення поглинання в смузі, що відповідає за основний стан BR_{570} , відкривалась кришка камери і вологість поступово зменшувалась до 40 %. Отримані результати вказують, що швидкість відклику плівки на зміну вологості складає декілька секунд, що є цілком прийнятним для створення на основі таких плівок чутливих елементів сенсорів вологості. Час відклику відрізняється в залежності від технології отримання плівки, що очевидно пов'язано з різною величиною пористості матриць.

Паралельна реєстрація змін інтенсивності люмінесценції на 570 нм та пропускання на 410 нм (рис. 8) підтвердила, що люмінесцентне випромінювання квантових точок запускає фотоцикл і переводить частину молекул БР з основного у стан M_{410} . При зміні відносної вологості зменшується час життя інтермедиату M_{412} , що приводить до зростання поглинання основного стану BR_{570} і, відповідно, зменшення інтенсивності люмінесцентного випромінювання. В той же час смуга поглинання стану M_{410} зменшується. Дані

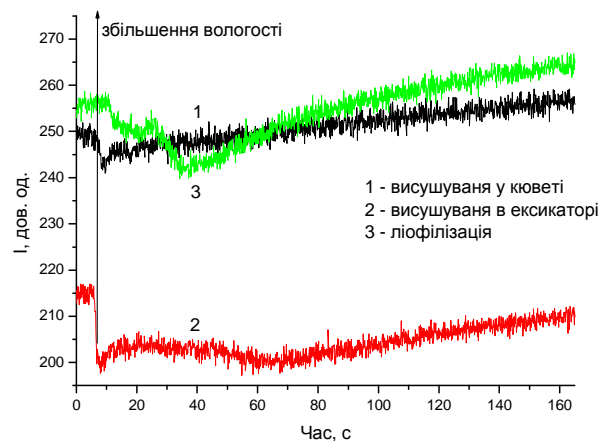


Рис. 7. Вплив зміни відносної вологості (від 40 % до 100 %) на інтенсивність люмінесценції на 570 нм плівок золь-гельна SiO_2 матриця – БР – напівпровідникові квантові точки, отриманих в різних технологічних умовах при збудженні випромінюванням з $\lambda=380$ нм.

міркування цілком узгоджуються з отриманими результатами експерименту.

Дослідження проведені при напуску в камеру аміаку різної концентрації показали, що при збільшенні концентрації аміаку пропорційно зростає інтенсивність люмінесцентного випромінювання квантових точок. Результати зміни інтенсивності випромінювання квантових точок в залежності від концентрації аміаку в камері

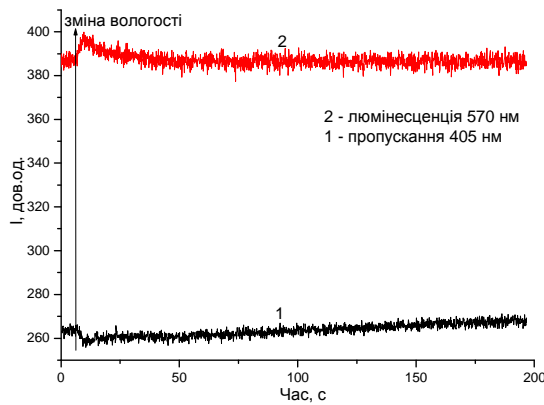


Рис. 8. Вплив зміни вологості (від 40 % до 100 %) на люмінесценцію плівок золь-гельна SiO_2 матриця – БР – напівпровідникові квантові точки при збудженні випромінюванням з $\lambda=380$ нм та пропускання плівки на 410 нм.

наведено на рис. 9. З попередніх робіт відомо [1, 4], що взаємодія БР з аміаком приводить до збільшення часу життя інтермедіату M_{412} . Відповідно, більша кількість молекул протягом більшого інтервалу часу буде знаходитися в проміжному стані, максимум поглинання якого віддалений від 570 нм. Зменшення смуги поглинання основного стану БР $_{570}$ приведе до зменшення поглинання люмінесцентного випромінювання бактеріородопсином, в результаті чого інтенсивність реестровано-го люмінесцентного випромінювання із збільшенням концентрації аміаку буде зростати.

Кількісний та якісний аналіз отриманих результатів свідчить про те, що на основі нанокompatитних структур, які включають фотохромний БР та квантові точки, можливе створення чутливих елементів для волоконно-оптичних сенсорних систем з чутливістю до аміаку на рівні десятків ppm. В загальному на основі таких структур можливе створення волоконно-оптичних сенсорів пропускаючого або відбиваючого типу, в яких запуск фотоциклу БР здійснюється випромінюванням квантових точок, а контроль змін фотоциклу відбувається за рахунок контролю зміни пропускання або інтенсивності люмінесценції. Така конструкція датчиків набагато простіша і ефективніша оскільки передбачає створення і випромінюючого і рееструючого середовища в одній плівковій структурі. Дана особливість спрощує

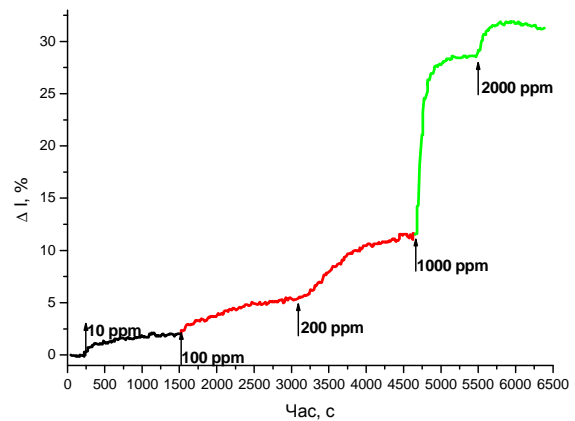


Рис. 9. Зміни величини люмінесценції нанокompatитних плівкових структур золь-гельна SiO_2 матриця – БР – напівпровідникові квантові точки при збудженні випромінюванням з $\lambda=380$ нм для різних концентрацій аміаку.

обслуговування та зменшує вартість такого роду сенсорів. Крім того відкривається можливість створення чутливих елементів, робота яких базується на вимірюванні часу напівжиття стану M_{410} . В обох зазначених можливостях збудження люмінесценції квантових точок може здійснюватися за допомогою електричного поля, що теж спрощує конструкції сенсорів, оскільки достатньо контролювати лише інтенсивність люмінесцентного випромінювання.

Висновки

Результати проведених досліджень вказують на можливість виготовлення хімічних сенсорів на основі бактеріородопсину у водонерозчинних золь-гельних матрицях, де запуск фотоциклу здійснюється за рахунок люмінесценції квантових точок, а контроль за його перебігом здійснюється за допомогою моніторингу інтенсивності та спектрального складу люмінесцентного випромінювання. Компактні високо інтенсивні світлодіоди, в свою чергу, можуть використовуватися для збудження люмінесценції квантових точок. Вузла смуга випромінювання світлодіодів дає можливість мінімізувати перекривання спектральних областей збуджуючого випромінювання та поглинання проміжних інтермедіатів фотоциклу, що зменшує рівень шумів та підвищує стабільність і чутливість датчиків. Отримані результати дозволяють рекомендувати розроблені матеріали для створення

чутливих елементів оптичних датчиків вологості та аміаку, які характеризуються спрощеною технологією отримання та

ширшим спектром використання за рахунок водонерозчинності матриці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Korposh O., Sharkan Y.P., Ramsden J.J. Response of bacteriorhodopsin thin films to ammonia, *Sens. Actuators B* 129 (2008) 473–480.
2. Sharkany J.P., Ramsden J.J., Zhitov O.V. Composite materials with photochromic component and semiconductors quantum dots for sensor elements. *Book of Abstracts of the International Meeting "Clusters and Nanostructured Materials (CNM 2006)", "Karpaty", Ukraine, 9-12 October, 2006, UNTC, Uzhhorod, 2006, p. 68.*
3. Шаркань Й.П., Рамсден Дж.Дж., Сакалош І.І., Січка М.Ю., Корпош С.О., Трикур І.І. Одержання та структурні особливості нанокompatитних плівок бактеріородопсин – квантові точки CdSe/ZnS – мікропориста золь-гельна матриця. *Фізика і хімія твердого тіла* Т. 11, № 1, 2010, С. 170-175.
4. Rui Li, Chang Ming Li, Haifeng Bao and Qiaoliang Bao. Stationary current generated from photocycle of a hybrid bacteriorhodopsin / quantum dot bionanosystem, *Applied physics letters* 91, 223901 2007, pp. 1-3.
5. Griep M., Lueking D., Mackay R., Mallick G., Karna S., Friedrich C. Quantum dot/optical protein bio-nano hybrid system for biosensing applications. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 10, 2010, p. 6029-6035.
6. Oesterhelt D., Stoerkenius W. Isolation of the cell membrane of halobacterium halobium and its fractionation into red and purple membrane // *Method Enzimol.* – 1974. – Vol.31. – P. 667–678.
7. Weetall, H. Retention of bacteriorhodopsin activity in dried sol-gel glass. *Biosensors & Bioelectronics*, 11, 1996, p. 325–333.

Стаття надійшла до редакції 06.09.2012

I.I. Trikur¹, I.I. Sakalosh¹, G.T. Horvat¹, Sichka M.Y.¹, Korposh S.O.²,
J.P. Sharkany¹, V.M. Rizak¹

¹Uzhhorod National University, Ukraine, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

²University of Kitakyushu, Japan

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF NANOCOMPOSITE FILM STRUCTURES SOL-GEL SiO₂ MATRIX - BACTERIORHODOPSIN - QUANTUM DOTS CdSe/ZnS

The work is devoted to research possibility of using nanocomposite films of bacteriorhodopsin in sol-gel matrix with embedded quantum dots CdSe/ZnS as a sensitive element of chemical sensors. In this paper, a comparative study of excitation of quantum dots luminescence in nanocomposite film structures using the radiation of different spectral compositions were carried out. Research of the influence of humidity and ammonia on the characteristics of films of *sol-gel SiO₂ matrix - bacteriorhodopsin - quantum dots CdSe/ZnS* has also been carried out. The research results confirmed that the luminescent emission of quantum dots can run a photocycle and, controlling the intensity of luminescent emission, we can monitor changes in the photocycle which, in turn, enables to control the presence and concentration of certain substances in the environment.

Key words: Bacteriorhodopsin; Quantum dots; Chemical sensor; Sol-gel glass.

И.И. Трикур¹, И.И. Сакалош¹, Г.Т. Горват¹, М.Ю. Сичка¹,
С.А. Корпош², И.П. Шаркань¹, В.М. Ризак¹

¹Ужгородський національний університет, Україна, 88000, Ужгород, ул. Підгірна, 46

²Китакюський університет, Японія

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР ЗОЛЬ-ГЕЛЬНАЯ SiO₂ МАТРИЦА - БАКТЕРИОРОДОПСИН - КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ CdSe/ZnS

Работа посвящена исследованию возможности применения нанокomпозитных пленок бактериородопсина (БР) в золь-гельной матрице с внедренными квантовыми точками типа CdSe/ZnS в качестве чувствительных элементов химических сенсоров. В данной работе проведено сравнительное исследование эффективности возбуждения люминесценции квантовых точек в таких нанокomпозитных пленочных структурах с помощью излучения различного спектрального состава. Кроме того, проведено исследование влияния влажности и аммиака на характеристики пленок *золь-гельная SiO₂ матрица - бактериородопсин - квантовые точки CdSe/ZnS*. Результаты исследования подтвердили, что люминесцентное излучение квантовых точек может запускать фотоцикл, а контролируя интенсивность люминесцентного излучения, мы можем следить за изменениями в протекании фотоцикла, что, в свою очередь, дает возможность контроля наличия и концентрации некоторых веществ в окружающей среде.

Ключевые слова: бактериородопсин, квантовые точки, химический датчик, золь-гельное стекло.