

ЕЛЕКТРОХЕМІЛЮМІНЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗАТОР ЕЛАН-3D ДЛЯ БІМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сніжко Д.В., Рожицький М.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, пр. Леніна, каф. біомедичних електронних пристроїв та систем,
тел. +38 (057) 702-13-64, E-mail: sn@kture.kharkov.ua; rzh@kture.kharkov.ua;

The given work is devoted to development of the modern digital analytical apparatus ELAN-3d for electrochemical/electrochemiluminescent assays in biomedical applications. Setting expert mode, representation of obtained experimental data in digital form, data processing and acquisition is accomplished by Advantech PCI-1711 card installed in PC. ELAN-3d implementation is important for new analytical methods and sensor apparatus development. Apparatus include also the Hamamatsu photomultiplier module H5784-20 with built-in high voltage source and a number of original technical approaches.

Вступ. Люмінесцентні та електрохімічні методи аналізу займають провідну роль в медичних лабораторних та клінічних дослідженнях. Сукупність таких факторів, як легкість автоматизації, простота методик, низька собівартість, високі метрологічні показники обумовлюють пріоритет при обранні тієї чи іншої аналітичної методики. Серед люмінесцентних методів дослідження широко поширеним є метод хемілюмінесцентного аналізу, що зумовлено його високою чутливістю. Оскільки аналітичним сигналом є світло, що виникає під час хімічної реакції з участю речовини, що досліджується (аналіта), то можливе детектування відгуку системи на рівні одиниць фотонів за секунду, що визначає нижню границю детектування методики в 10^{-8} М. До недоліків метода можна віднести неможливість керування аналітичною реакцією, а саме, після додавання реагентів, відразу виникаюча хімічна реакція йде некеровано, тому частіш за все реагенти додаються безпосередньо в детекторну зону, що ускладнює конструкцію апарату. У відмінність до цього електрохімічні (ЕХ) методи, насамперед, вольтамперометричні, дозволяють проводити аналіз за програмою, що повністю визначається експериментатором. Це забезпечує можливість повторювати експеримент та отримувати відтворювані дані. Досягнення у мініатюризації електродних систем та керуючої електроніки дозволяють розробляти на базі цього методу вельми малорозмірні аналітичні пристрої, до рівня лабораторії на чипі. Їх недоліком є низька межа детектування, що визначається рівнем 10^{-6} М. Виходом з цієї колізії є поєднання цих двох методів у методі електрохемілюмінесцентного (ЕХЛ) аналізу. Сутність даного методу є генерація світла під час хімічної реакції між речовинами, що з'являються під час проведення електролізу розчину. Таким чином, аналітична реакція має місце тільки тоді, коли буде подано збуджуючий сигнал. Відсутність спонтанної ЕХЛ, різноманітність природи збуджуючого (електричного) та аналітичного (оптичного) сигналів усуває наявність фонових шумів у аналітичному сигналі та дозволяє отримати низьку границю детектування на рівні 10^{-10} М і менш. При цьому проблема методологічної складності ЕХЛ-аналізу вирішується на сучасному рівні шляхом автоматизації процесу дослідження, та компенсується значно кращою чутливістю, селективністю, більш низькою межею визначення речовин, що досягається у аналізі.

Ціллю роботи є розробка відповідного програмно-апаратного комплексу, що повністю забезпечує проведення ЕХЛ досліджень рідких об'єктів, включаючи біологічні проби.

Результати роботи. Основою комплексу ЕЛАН-3d для проведення електрохімічних та електрохемілюмінесцентних досліджень, що розроблено у роботі, є плата вводу-виводу інформації PCI-1711 фірми Advantech, яка розміщується на PCI шині персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням. За допомогою інтерфейсного кабелю плату поєднано з модулем керування. Структурна організація комплексу зумовлена необхідністю забезпечення наступних функцій, необхідних для

проведення ЕХ та ЕХЛ досліджень: потенціостатування трьох електродної ячейки, одночасний вимір емісії фотонів та струму, що протікає через робочий електрод, синхронно до сигналу збудження, який подається на допоміжний електрод. Окрім цього додатково для забезпечення більшої функціональності приладу реалізується можливість відключення допоміжного електрода та електрода порівняння. Завдяки можливості відключення допоміжного електрода можливо вимірювання рівноважного потенціалу системи. Відключення додатково електрода порівняння дозволяє знизити ризик виходу з ладу електроніки потенціостата під дією статичної електрики, оскільки електрод порівняння підключено до підсилювача з високим імпедансом. Ця ситуація може виникнути під час проведення зміни електрохімічної ячейки, заміни електродів, зміни розчинів.

Реєстрація оптичного сигналу в системі здійснюється за допомогою модуля фотоелектронного помножувача (ФЕП) фірми Hamamatsu H-5784-20. Особливостями останнього є висока чутливість, мініатюрність, низька споживча потужність, наявність вбудованого джерела високовольтного живлення, легкість інсталяції та керування. Тому важливою функцією було захистити помножувач від нештатного режиму експлуатації при знятій кришці світлонепроникного боксу, за допомогою схеми контролю положення кришки боксу на базі оптичних датчиків, що відключає модуль ФЕП у разі відкриття боксу. Окрім цього, обладнання модуля захисною діафрагмою дозволило закривати модуль ФЕП у час, коли він не експлуатується, для захисту від можливої деструктивної дії зовнішнього світла. Також можливо проводити контроль темного струму ФЕП без необхідності вилучення зразка з світлонепроникного боксу, що є важливою функцією контролю характеристик роботи модуля ФЕП.

До основних технічних характеристик комплексу слід віднести можливість роботи з трьохелектродною ЕХ- або ЕХЛ-ячейкою, здійснювати поляризацію допоміжного електрода в діапазоні ± 10 В струмом до 10 мА, при цьому забезпечується дискретизація зміни потенціалу в 1 мВ. Використання чутливих операційних підсилювачів з МОН-транзисторами на вході дозволяє проводити вимірювання аналітичного струмового сигналу, що проходить через ячейку, від 1 пА. Це дозволяє здійснювати високоточне потенціостатування ячейки, що є важливим у дотриманні відповідності аналітичної техніки до обраних ЕХ- та ЕХЛ-методик. Використання модуля ФЕП з струмовою схемою реєстрації оптичного сигналу з інтегрованим пікоамперним операційним підсилювачем для перетворення фотострум-напруга та наявність схеми керування вбудованим джерелом високовольтного живлення дозволяє проводити дослідження оптичного сигналу з динамічним діапазоном до 8 порядків величини (160 дБ), при цьому максимальна чутливість його сягає значення 78 мА/лм. Завдяки цьому мається можливість досліджувати широкий спектр аналітичних реакцій, що супроводжуються як високим, так і слабким рівнем випромінювання оптичного аналітичного сигналу.

Важливою особливістю комплексу є наявність світлозахисного боксу, де розміщується ячейка у спеціальній системі кріплення, райони для підключення електродів ячейки, модуль ФЕП на рухомій підставці, система газогонів для підведення захисної аргонної атмосфери до ячейки. Необхідність в цьому зумовлена потребою у дослідженнях різних електродів, що мають плоску конструкцію, яка найбільш зручна при побудові тонкошарових сенсорів.

Висновки. Розроблений комплекс ЕЛАН-3D має технічні характеристики, що відповідають сучасному світовому рівню. Він надає можливість проводити розробку нових інноваційних методик аналізу та відповідного обладнання з залученням досягнень у областях новітніх матеріалів та нанотехнологій. Цей факт зумовлює перспективу використання комплексу як бази для розробки та випробувань різноманітних сенсорних пристроїв – пріоритетної задачі у області розробки сучасних аналітичних систем.

Робота виконана в рамках міжнародного проекту УНТЦ № 4180 (керівник д.ф.-м.н., проф. Рожицький М.М.).