

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАДШВИДКОГО ПОТЕНЦІОСТАТА ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ БІОМЕДИНЖЕНЕРІЇ

Сніжко Д.В., Рожицький М.М.

Лаборатория аналитической оптоэлектроники,
кафедра біомедичних електронних пристроїв та систем,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
пр. Ленина 14, Харьков, 61166, Украина; <http://electrohim.kture.kharkov.ua>
E-mail: rzh@kture.kharkov.ua; тел./факс (057) 702-03-69

The paper is devoted to application potential of ultra fast potentiostat utilization in biomedical engineering. Ultra fast potentiostat construction is proposed to resolve tasks of nanoelectrochemistry that it's closely to problem of electrochemical investigation of biological probes at cell level. Increasing electrochemical measurements resolution stay is possible by high sweep voltage mode of ultra fast potentiostat. The ultra fast potentiostat realization opens new possibilities for investigation of biological object and application in different fields of health and biology science.

Вступ

Все більший інтерес у медицині звернено до клітинних технологій. Враховуючи факт роботи клітини як електрохімічної систем де відбуваються багато електрохімічних явищ, дослідження відповідно таких систем особливо інформативно є методами електрохімії. Однак необхідність у зменшенні інструментарію, робота з живими культурами та інші ставлять принципово нові задачі перед аналітичною електрохімією. Їх вирішення відбувається з залученням та розвитком апарату нанoeлектрохімії – області що займається дослідження нанорозмірних структур, та залученням нанотехнологій у вирішенні задач електрохімії, включаючи її аналітичні використання. Отже, розглядаючи клітину як складну нановпорядковану електрохімічну систему, стає актуальним розробка та впровадження електрохімічної технології, що дозволить проводити дослідження на рівні клітинної організації. Це, безумовно, дозволить вирішити важливі питання біомедичної інженерії у проведенні досліджень функції елементів мембрани, механізмів іонного транспорту та процесів метаболізму клітини. Враховуючи зазначене актуальним стають роботи з теоретичного та прикладного дослідження та розробки відповідно технічного інструментарію для реалізації електрохімічних досліджень на рівні однієї клітини.

Робота присвячена огляду проблеми електрохімічних досліджень на клітинному рівні, та оцінки перспектив використання надшвидкого потенціостату, що розроблено авторами, як інструментарію, який дозволяє реалізувати принципи нанoeлектрохімії та зменшити розміри області електрохімічних досліджень у пробі до нанорівнів. Вирішуються задачі практичного застосування надшвидкого потенціостату для цілей біомедичної інженерії при дослідженні різноманітних об'єктів у рідкому середовищі та вивчення процесів функціонування систем, що супроводжуються електрохімічними явищами.

Метод надшвидкої потенціометрії

Хоча проблема дослідження клітин як електрохімічних систем була поставлена достатньо давно, однак дослідження в цій області остаються обмеженим інструментарієм, що використовується. Для електрохімічних методів це проблема не тільки розмірів електродів, що використовуються при дослідженнях, а також проблема розмірів проби, що встигає залучитися до процесів транспорту речовин під час електролізу та відповідно електрохімічного експерименту. Оскільки на результати електрохімічних досліджень впливають зміни, що трапляються у так званій дифузійній приелектродній області, отже підвищення роздільної здатності та відповідно зменшення області що залучена до електрохімічного експерименту можливо за умови зменшення дифузійного шару. Залучення швидкісних вимірів та відповідно використання надшвидкого потенціостату

необхідно для введення розмірних обмеження на приелектродну дифузійну область, що формується під час електрохімічних процесів на електроді.

Оцінка ефективного розміру щільного дифузійного шару може бути проведена за виразом $2(D_0t)^{1/2}$, де D_0 – коефіцієнт дифузії окисленої (чи відновленої) форми речовини на електроді, t – час експерименту, тобто час за який здійснюється транспорт окисленої (чи відновленої) форми речовини, що утворилась на електроді. Відповідно для зменшення області дифузійного шару що залучається до експерименту можна контролювати за допомогою двох факторів. Перший - це склад середовища, будова розчинника, які використовуються при дослідженні, його зміна звісно обмежена для біологічних проб, це примусово водні розчини для яких коефіцієнт дифузії мало змінюється та складає величину $D_0=5 \times 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$. Отже іншим фактором впливу є час експерименту. Для його зменшення необхідно використовувати достатньо швидкі виміри, а отже застосовувати нестационарні методи електрохімічних досліджень. Розвиток останніх для області мікро- та нанорозмірних електродів є відкритою задачею, що потребує побудови не тільки теоретичного апарату відповідних процесів, що мають місце у електрохімічних композиціях, а й розробка принципово нової інструментальної бази, перш за все, надшвидкого потенціостату, конструкція якого запропонована в роботі.

Виходячи з розрахунків щодо підвищення роздільної здатності електрохімічних методів аналізу можна зазначити, що для досягнення нанорозмірного рівня дифузного шару необхідно забезпечувати час проведення електрохімічного експерименту аналізу не довше ніж декілька мікросекунд. Відповідно для таких методик як вольтамперометрія необхідно здійснювати лінійну розгортку потенціала зі швидкістю мегавольт за секунду, що є складною технічною задачею за умови необхідності водночас проводити потенціостатування електрохімічної системи, що досліджується. Враховуючи факт відсутності подібної техніки на ринку та майже відсутності розробок в цьому напрямку на тлі зростання наукового інтересу та появи все більшого числа наукових робіт присвячених наноелектрохімії та можливості реалізації надшвидкого вольтамперометричного методу електрохімічних досліджень свідчить високом потенціалі та перспективності робіт з розробки та використання надшвидкого потенціостату.

Проведені моделювання роботи надшвидкого потенціостата, запропонованої конструкції на сучасній елементній базі в прикладному пакеті Multisim 13.0 продемонстрували можливість використання потенціостату в режимі розгортки потенціалу з швидкістю до 20 МВ/с при цьому забезпечується струм поляризації протиелектрода у 100 мА амплітудою у $\pm 15 \text{ В}$, точність визначення потенціалу електроду порівняння складає $\pm 1 \text{ мВ}$, діапазон виміру струму через робочий електрод – від 100 пА до 1 мА. Працездатність запропонованої технології побудови надшвидкого потенціостату також перевірена на дослідному зразку при проведенні досліджень електрохімічної композиції що складалася з 0,5 моль/л тетрабутіламонію перхлорату та 0,01 моль/л 9,10-діфенілантрацену в ацетонітрилі.

Висновки

Запропонований інструментарій та відповідний метод над швидкої вольтамперометрії може бути особливо корисним при проведенні досліджень механізмів розповсюдження нервових збуджень у нервових тканинах та виникнення мембранних потенціалів у клітині, вплив препаратів та різноманітних чинників на ці процеси, роль структурних елементів клітини на наведені процеси. Вивчення принципів функціонування та факторів впливу на ці процеси дозволить отримати знання, що допоможуть при вирішенні питань лікування хвороб, пошуку нових лікарських препаратів та вдосконалення існуючих. Поєднання надшвидкого потенціостату з скануючи ми методиками з використанням нанорозмірних електродів надасть змоги значно підвищити роздільність електрохімічного скануючого мікроскопу відкривши принципово нові технічні можливості для наукових та прикладних дослідницьких робіт в області біоінженерії.

Роботоспроможності запропонованої у роботі схеми надшвидкого потенціостата