Электропроводящий биокомпозит на основе наноразмерных частиц сажи и билирубиноксидазы для катода биотопливного элемента

Шумакович Г.П., Васильева И.С. , Панкратов Д.В. , Горбачева М.А., Зейфман Ю.С.
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Биокомпозиты являются перспективными материалами для создания биотопливных элементов, в том числе и потенциально имплантируемых в организм человека.

Использование биокомпозитных материалов нано/микроразмеров позволяет повышать эффективность биотопливных элементов как за счет увеличения их полезной площади при одинаковых геометрических размерах, так и за счет увеличения диффузионного массопереноса субстратов к поверхности электродов, что, в конечном, счете, приводит к увеличению удельной мощности биотопливного элемента.

Биотопливный элемент является электрохимическим устройством, которое непосредственно преобразует химическую энергию в электрическую. В качестве катализаторов анодного и катодного процессов используют редокс ферменты. В настоящей работе для ускорения электрохимической реакции восстановления дикислорода на катоде биотопливного элемента является билирубиноксидаза (БОД, КФ 1.3.3.5).

Этот фермент катализирует в гомогенном состоянии окисление билирубина и других доноров электронов дикислородом воздуха при нейтральном значении pH раствора, что позволяет использовать этот фермент для разработки катода потенциально имплантируемого биотопливного элемента, функционирующего при физиологических значениях pH.

Наноразмерная сажа (УТиМ, Ст-Петербург) в настоящей работе являлась электропроводящей матрицей для иммобилизации БОД. Методом просвечивающей электронной микроскопии было показано, что частицы сажи, используемые в настоящей работе имеют размеры в интервале 20–70 нм. Электропроводящий биокомпозит получали путем физической адсорбции фермента на наноматериале. Ферментный катод изготавливали путем нанесения спиртовой дисперсии наносажи на торец стеклоуглеродного электрода. После удаления испарения спирта, на поверхность электрода наносили 20 мкл раствора БОД с концентрацией 250 мкг/мл в 0,1 М Na-фосфатном буфере, pH 7,0. Адсорбцию фермента проводили в течение 30 мин. После высушивания слоя биокомпозита на электрод наносили 5% водный раствор Нафиона. Пленка отрицательно заряженного полиэлектролита обеспечивает механическую прочность наночастиц биокомпозита на токоотводе (стеклоуглерод или электрод).

На изготовленном биоэлектроде записывали линейные вольтамперограммы реакции электровосстановления дикислорода в буферном растворе при pH 7,0, насыщенном воздухом или дикислородом. Вольтамперные кривые указывают на ускорение реакции электровосстановления дикислорода по сравнению с контролями, как в отсутствии БОД, так и в анаэробных условиях. Изучение pH-зависимости ферментного электрода показало, что оптимум pH для биоэлектрокаталитической реакции находится в интервале pH 6,0 - 7,0.

Использование наноразмерного материала для иммобилизации БОД приводило к повышению стабильности биокатализатора по сравнению с нативным при 37оС, однако в результате адсорбции фермента последний терял до 80% своей первоначальной активности.

Плотность тока на электроде с иммобилизованной БОД на наносаже в расчете на геометрическую поверхность составляла 22 мкА/см2 при потенциале 0,3 В, а начало электровосстановления дикислорода на электроде с биокомпозитом проходило при потенциале 0,5 В (отн. Ag/AgCl).

Таким образом, в результате проведенных исследований было показано, что электрод на основе биокомпозита (БОД – наносажа) обеспечивает достаточно высокую плотность тока при физиологическом значении pH рабочего раствора, что может служить основой для создания катода имплантированного биотопливного элемента.

Работа выполнена при поддержке Государственного контракта № 16.512.11.2001 в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2012 годы».