

Сухие электроды на основе гибридов углеродных нанотрубок и графена

Куксин А.В.¹, Морозова А.С.¹, Герасименко А.Ю.^{1,2}

artemkuks1n@yandex.ru

¹ Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Зеленоград, Россия

² Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Классические электродные интерфейсы на основе металлических соединений, таких как Ag/AgCl, имеют ряд существенных недостатков: необходимость электролитического гелевого слоя и риск аллергических реакций. Высокая электропроводность углеродных наноматериалов и созданных из них лазерно-индуцированных гибридных наноструктур открывает значительный потенциал для разработки гибких электронных компонентов [1]. Интеграция углеродных нанотрубок и графена в полимерные матрицы, такие как полидиметилсилоксан (ПДМС), позволит создавать гибкие биомедицинские интерфейсы, например, сухие электроды [2].

Были разработаны электродные интерфейсы на основе структур одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) и восстановленного оксида графена (ВОГ) в матрице ПДМС. Установлено, что импульсное лазерное воздействие (1064 нм) с интенсивностью 15 кВт/см² изменяет морфологию поверхности композита на основе ОУНТ и ВОГ. Углеродные наноматериалы образуют электропроводящие сети, которые повышают электропроводность композита. Исследования методом спектроскопии комбинационного рассеяния света выявили увеличение отношения ID/IG и, следовательно, образование связей между углеродными наноматериалами в местах дефектов. Модуль упругости сформированных электродных интерфейсов составил 180±5,3 кПа, что соответствует модулю упругости человеческой кожи. Сопротивление интерфейса составило 103±7 кОм при низкой концентрации ОУНТ/ВОГ 0,5/0,5 масс.%. Лазерная обработка позволила снизить сопротивление в 13 раз до 8±2 кОм. После взаимодействия со средой, имитирующей человеческий пот, электродные интерфейсы продемонстрировали более высокую стабильность импеданса по сравнению с Ag/AgCl электродами. Биосовместимость интерфейсов была продемонстрирована путем изучения жизнеспособности клеток эмбриональных фибробластов человека на их поверхности.

Таким образом, разработанные электродные интерфейсы продемонстрировали более высокую стабильность импеданса по сравнению с Ag/AgCl электродами. Отсутствие гелевого слоя в сухих интерфейсах является преимуществом по сравнению с коммерческими аналогами при длительном использовании. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанные электродные интерфейсы пригодны для использования в носимых устройствах, включая устройства для непрерывного мониторинга ЭКГ в течение как минимум 7 дней.

Исследование выполнено при поддержке Российского Научного Фонда (РНФ № 25-29-00938 от 26.12.2024).

Ссылки

1. A.Y. Gerasimenko, A.V. Kuksin, Y.P. Shaman, E.P. Kitsyuk, Y.O. Fedorova, A.V. Sysa, A.A. Pavlov, O.E. Glukhova, *Nanomaterials* (2021), **Vol. 11(8)**, pp. 1875.
2. A.V. Kuksin, A.S. Morozova, Y.O. Vasilevskaya, E.M. Eganova, K.D. Popovich, A.Yu. Gerasimenko, *Diamond and Related Materials* (2025), **Vol. 159**, pp. 112895.