

РАЗРАБОТКА СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ БИМОЛЕКУЛ

Лобач А. С.¹, Щепова А. А.¹, Урванова Д. И.¹

Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Масалович М. С.¹

¹Университет ИТМО

msmasalovich@itmo.ru

Введение

Одной из наиболее значимых научных задач будущего является создание и хранение экологически чистой энергии. Эволюция устройств для накопления заряда, применяемых в электронике и транспортных средствах, связана не только с улучшением показателей емкости и мощности, но и выполнением строгих требований экологической безопасности. Суперконденсаторы являются типичными представителями электрохимических систем, привлекательных как передовые накопители энергии из-за высоких показателей плотности мощности, длительного срока службы, низкой стоимости и простоты изготовления. По назначению суперконденсаторы можно разделить на два класса устройств, первый, ориентированный на долговечную работу и высокие электрические показатели, и второй - биоразлагаемая электроника, способная полностью деградировать по истечении желаемого срока службы. Второй класс устройств находит применение в экологических мониторах, аппаратной электронике безопасности, биомедицинских имплантатах/ датчиках/ стимуляторах [1-4], а также биоэлектронных лекарствах или системах доставки лекарств.

Одним из возможных решений биосовместимости является использование в суперконденсаторах различных природных биомолекул, таких как АТФ (аденозинтрифосфат) [5], в качестве эффективных самодостаточных материалов для модификации электродов и электролитов суперконденсаторов, функционирующих в биологических средах с учетом особенностей их биodeградации.

Основная часть

В качестве основы для электродов мы использовали углеродную ткань. Активный материал готовили на основе природного биополимера альгината натрия. Для этого приготовили 50 мл 2% водного раствора альгината натрия, затем добавили 2,5 г графитового порошка и тщательно перемешали до получения однородной пасты. Параллельно приготовили растворы солей цинка, кальция, бария, меди и свинца с концентрацией 2,5% для последующей модификации электродов. Углеродную ткань нарезали в виде ниток длиной 20 см, оставляя свободный контактный участок. На каждый образец нанесли пасту, после чего часть образцов пропитали растворами солей металлов. Один образец оставили без пропитки в качестве контроля. Все образцы высушивали при 70 °С в течение 1,5 часов. Электрохимические испытания проводили в трёхэлектродной ячейке с использованием 0,01 М фосфатно-солевого буфера (PBS), моделирующего биологическую среду. Рабочим электродом служил полученный образец, вспомогательным – платиновый стержень, электродом сравнения – хлорсеребряный электрод. Ёмкость электродов рассчитывали по циклическим вольтамперограммам (диапазон потенциалов: от 0 до +800 мВ) при скорости развёртки потенциала 50 мВ/с.

В результате измерений обнаружено, что образцы, модифицированные катионами Zn^{2+} и Ca^{2+} , демонстрируют более высокую удельную ёмкость по сравнению с контролем. Наилучший результат показал цинк. Предположительно, это связано с малым ионным

радиусом Zn^{2+} и его высокой подвижностью. Однако абсолютные значения ёмкости остаются невысокими, что требует дальнейшей оптимизации.

Также параллельно мы модифицировали сажу молекулами АТФ в два этапа. Сначала её активировали 2,5 М раствором азотной кислоты при нагревании с обратным холодильником в течение 6 часов. После фильтрации, промывки и сушки полученный материал использовали для проведения графтинга: присоединение АТФ в присутствии тетрахлорида титана в качестве катализатора в среде пиридина при температуре 85 °С в течение 2 часов. ИК-спектроскопия подтвердила образование амидной связи между карбоксильными группами окисленной сажи и аминогруппами АТФ.

Выводы

На основе полученных результатов планируется изготовить нитевидные электроды из углеродной ткани с использованием модифицированной молекулами АТФ углеродной пасты, рассчитать их ёмкость, подобрать полупроницаемую мембрану, собрать прототип суперконденсатора и провести тесты на цитотоксичность.

Литература

1. Jeon, S., Seo, H., Kim, Y., Choi, Y., Lee, Y., Jung, Y., Lee, S., Lee, J. T., & Park, S. (2025). Fully biocompatible, thermally drawn fiber supercapacitors for long-term bio-implantation. *Nature Communications*, 16(1).
2. Sheng, H., Jiang, L., Wang, Q., Zhang, Z., Lv, Y., Ma, H., Bi, H., Yuan, J., Shao, M., Li, F., Li, W., Xie, E., Liu, Y., Xie, Z., Wang, J., Yu, C., & Lan, W. (2023). A soft implantable energy supply system that integrates wireless charging and biodegradable Zn-ion hybrid supercapacitors.
3. Liu, Y., Zhou, H., Zhou, W., Meng, S., Qi, C., Liu, Z., & Kong, T. (2021). Biocompatible, High-Performance, Wet-Adhesive, Stretchable All-Hydrogel Supercapacitor Implant Based on PANI@rGO/Mxenes Electrode and Hydrogel Electrolyte. *Advanced Energy Materials*, 11(30).
4. Su, Y., Li, N., Wang, L., Lin, R., Zheng, Y., Rong, G., & Sawan, M. (2022). Stretchable Transparent Supercapacitors for Wearable and Implantable Medical Devices. *Advanced Materials Technologies*, 7(1).
5. Neekzad, N., Kowsari, E., Najafi, M. D., Reza Naderi, H., Chinnappan, A., Ramakrishna, S., & Haddadi-Asl, V. (2021). Pseudocapacitive performance of surface functionalized halloysite nanotubes decorated green additive ionic liquid modified with ATP and POAP for efficient symmetric supercapacitors. *Journal of Molecular Liquids*, 342.