

ГИБКИЕ ЭЛЕКТРОДЫ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ГРАФЕНА И ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТА КОБАЛЬТА-МАРГАНЦА ДЛЯ АСИММЕТРИЧНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

В условиях стремительного роста потребностей человечества в электроэнергии и обострения экологических проблем, вызванных использованием углеродсодержащего топлива, особенно актуальной задачей становится переход от ископаемых и ядерных источников энергии к возобновляемым. Последние обеспечивают более устойчивое, безопасное и экологически чистое энергоснабжение. Однако их эффективное применение невозможно без надежных и доступных систем хранения энергии.

Среди современных устройств накопления и хранения энергии особое внимание привлекают суперконденсаторы. Они характеризуются высокой удельной мощностью, низким внутренним сопротивлением и быстрым временем заряда/разряда. Благодаря возможности миниатюризации и реализации их создания на гибких подложках с отличными механическими свойствами, суперконденсаторы находят широкое применение, включая носимую электронику и микроустройства.

В настоящей работе впервые предлагается комплексный подход, сочетающий в себе методы лазерного и послойного синтеза с использованием растворов солей переходных металлов, для получения высокоэффективных электродов для суперконденсаторов. В частности, методы лазерной химии были применены для синтеза графенсодержащих электродов путем лазерно-индуцированного пиролиза подложки из полиэтилентерефталата (ПЭТ) [1]. Полученные гибкие углеродные электроды были дополнительно модифицированы методом послойного синтеза — перспективной жидкофазной методикой получения неорганических наноструктур [2, 3]. В качестве модифицирующего слоя исследовалась система гексацианоферратов разноимённых металлов, в частности кобальта и марганца.

Асимметричный суперконденсатор был собран с использованием немодифицированного лазерно-индуцированного графенсодержащего электрода в качестве анода и электрода, модифицированного гексацианоферратом кобальта и марганца, в качестве катода. Максимальная удельная емкость, рассчитанная на основе гальваностатических кривых заряда-разряда при плотности тока 0,25 мА/см², составила 158,3 мФ/см². При этом удельная плотность энергии достигла 44,5 мВт·ч/см², а плотность мощности — 184,0 мВт/см². Механические испытания показали, что устройство сохраняет стабильные электрохимические характеристики при многократных изгибах, демонстрируя высокую устойчивость к механическим нагрузкам.

Сравнение с другими современными гибкими электродными материалами подтверждает конкурентоспособность предложенного подхода. Таким образом, продемонстрирована высокая эффективность комбинации лазерно-индуцированных методов и послойного синтеза для получения гибких электродов на основе графена и гексацианоферратов металлов. Разработанная методология обладает высокой универсальностью и может быть использована для создания широкого спектра анодных и катодных материалов, открывая новые возможности для развития устройств накопления и хранения энергии нового поколения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 24-29-00758.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rodriguez, R.D. Ultra-Robust Flexible Electronics by Laser-Driven Polymer-Nanomaterials Integration / S. Shchadenko, G. Murastov, A. Lipovka, M. Fatkullin, I. Petrov, T.T. Hoang // Adv. Funct. Mater. – 2021. – 31. – С. 2008818.
2. Lobinsky, A. SILD synthesis of porous manganese oxide nanocoatings as electroactive materials for pseudocapacitors / M. Kaneva, A. Bachina, M. Tenevich // Nanosyst-Phys. Chem. M. – 2023. – 14. – С. 554-559.
3. Tolstoy, V. Low temperature synthesis of Cu_{0.3}IrO_x·nH₂O nanocrystals by successive ionic layer deposition and their electrocatalytic properties in oxygen evolution reaction during water splitting in acidic medium / M. Kaneva, N. Fedotova, S. Levshakova // Ceram. Int. – 2020. – 46. – С. 20122-20128.