

Разработка углеродных композитов на основе целлюлозы и многослойных углеродных нанотрубок для суперконденсаторов

Попов К.М.¹, Сысоев В.И.¹, Окотруб А.В.¹

popov@niic.nsc.ru

¹ ИНХ СО РАН, Новосибирск, Россия

Целлюлоза является возобновляемым биоресурсом и основным компонентом бумаги, картона и производных материалов (эфиры целлюлозы, целлофан). Ввиду растущего спроса на стабильные системы хранения энергии, материалы на основе биомассы рассматриваются как перспективные прекурсоры для углеродных электродов суперконденсаторов. Создание иерархических пористых структур критически важно для улучшения транспорта ионов и эффективного хранения заряда.

Настоящая работа посвящена разработке углеродного композиционного материала без использования связующих агентов для электродов суперконденсаторов на основе многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) и целлюлозы. МУНТ вводятся для повышения электропроводности композита, тогда как термообработанная целлюлоза способствует увеличению удельной поверхности материала. Методика включает кислотную обработку компонентов, их химическую сшивку и последующий термический отжиг в инертной атмосфере. Для улучшения диспергируемости МУНТ в водной среде, проводили функционализацию МУНТ карбоксильными (-COOH) и гидроксильными (-OH) группами при обработке в смеси серной и азотной кислот. Целлюлозу обрабатывали 20% раствором H₂SO₄ для частичного гидролиза и укорачивания волокон. Модифицированные компоненты смешивали и подвергали ультразвуковой обработки для формирования стабильной суспензии. Для улучшения распределения нанотрубок проводили гидротермальный синтез при 120 °C с добавлением этилендиамина. Вакуумное фильтрование полученной суспензии позволяло получать композиционной плёнки с равномерным распределением МУНТ в целлюлозной матрице. Полученные пленки прессовали между стеклами и высушивали. Для получения электродного материала использовали термический отжиг композита в аргоновой атмосфере при температурах 500–800 °C.

Исследование электрохимических характеристик проводили методом циклической вольтамперометрии в трёхэлектродной ячейке с хлорсеребряным электродом сравнения. В качестве электролитов использовали 6М КОН, 1М растворе NaClO₄ в ацетонитриле и 1-этил-3-метилимидазолия тетрафторборате (EMIBF₄). Изучалось влияние температуры обработки и соотношения компонентов (содержание МУНТ варьировалось от 10 до 20 вес.%). Установлено, что максимальную удельную ёмкость 62 Ф/г (при скорости развёртки 2 мВ/с) продемонстрировал композит с исходным содержанием 15 вес. % МУНТ, подвергнутый термообработке при 800 °C. В электролитах на основе NaClO₄ и EMIBF₄ наибольшие электрохимические показатели продемонстрировали плёнки из функционализированных нанотрубок (~ 20 Ф/г, 0.2 А/г). Исследованы ключевые электрохимические параметры (удельная мощность, ёмкость и стабильность) прототипов суперконденсаторов в двухэлектродной конфигурации с электродами на основе композиционных углеродных материалов. Практические испытания прототипов суперконденсаторов в двухэлектродной конфигурации (корпус CR2032) подтвердили работоспособность материалов. Устройства с электродами из МУНТ общим весом 23,8 мг и электролитом EMIBF₄ обеспечили непрерывную работу красного светодиода в течение 150 секунд при токе разряда ~1.7 мА. Авторы благодарят Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.