

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.31

Черепко
Максим Артурович

Формирование электродной системы в суперконденсаторах из аллотропных
кристаллических углеродных материалов

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель
Табулина Людмила Васильевна
доцент, кандидат химических
наук

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

Растущий рынок мобильных электронных устройств, возобновляемых автономных источников энергии и электромобилей требует высокопроизводительных устройств накопления энергии. Аккумуляторы обычно являются первым выбором из-за их высокой плотности энергии. Однако суперконденсаторы имеют более высокую удельную мощность и более длительный срок службы. Для некоторых применений они более подходят по своим характеристикам чем аккумуляторы, и также могут использоваться в качестве дополнения к аккумуляторам, чтобы продлить их срок службы. Возможность использования нанотехнологий при производстве суперконденсаторов дала возможность достижения более высокой площади поверхности электрода, которая способствует увеличению количества накапливаемой энергии и открытию новых областей применения.

Суперконденсатор — это электрохимический конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита, существенно отличается более низкими потерями тока и большими значениями удельной мощности. Electrodes разделены ионно-проводящим сепаратором, который предотвращает короткие замыкания и может служить регулятором скорости перемещения ионов между электродами. При этом суперконденсаторы имеют на порядок меньшие габариты. То есть это батарея нового поколения, которая сможет открыть многочисленные перспективы в энергетике. В первую очередь большой интерес к суперконденсаторам вызван возможностью замены ими батарей, а также создания гибких источников питания большой мощности.

В настоящее время изготовление суперконденсаторов (СК) рассматривается, как одно из перспективных направлений в развитии микро-наноэлектроники. Эти устройства обладают хорошими эксплуатационными характеристиками, в частности долгим сроком службы и высокой скоростью зарядки-разрядки. Активным элементом промышленно выпускаемых СК является активированный углерод, обладающий электропроводностью и высоким значением удельной поверхности. В научной литературе в качестве альтернативы активированным углям для СК рассматриваются углеродные нанотрубки и графен.

Стратегической задачей является создание батарей высокой емкости, которые можно было бы использовать в разных областях, однако использование конденсаторов такого вида все еще ограничено из-за их высокой стоимости.

Большинство коммерчески доступных предложений содержат дорогие электролиты и дорогостоящие электродные материалы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Данные исследования были посвящены особенностям формирования суперконденсаторов с двойным электрическим слоем, с использованием в качестве электродного материала различных аллотропных кристаллических форм углерода. Были использованы углеродные нанотрубки коммерческого производства различных компаний, и графен синтезированный в НИЛ 4.6. Было рассмотрено влияние взаимодействия электродного материала с водным электролитом и влияние мембранного материала на емкостные характеристики суперконденсатора. Были получены зависимости емкостных характеристик суперконденсатора от типа используемого углерода. Полученные данные важны для воспроизводимого изготовления подобных источников энергии, улучшений их характеристик и будущих исследований.

Степень разработанности проблемы.

Исследования позволили комплексно оценить влияние типа углерода, и вместе с тем, других компонентных составляющих на емкостные характеристики суперконденсаторов, которые в научных публикациях освещены вскользь.

Цель и задачи исследования.

Целью диссертации является исследование влияний аллотропного кристаллического углерода (различные типы УНТ и графен) в качестве электродного материала, а также состава щелочного электролита и типа сепаратора на характеристики суперконденсатора с двойным электрическим слоем.

Для выполнения поставленной цели в работе были проведены следующие исследования:

- разработана модель конструкции электрохимического суперконденсатора с учетом вариантов, предложенных в научных публикациях.
- исследованы и подобраны типы углеродного материала и оптимальные условия его подготовки для наилучших емкостных характеристик суперконденсатора.
- использована вариация состава электролита.
- выявлены особенности взаимодействия электролита и электродного

материала.

–разработаны оптимальные условия подготовки электродного материала для эффективного поверхностного взаимодействия с щелочным электролитом.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является процесс изготовления экономичного, качественного и инновационного источника энергии. Предметом работы выступают факторы и компоненты, влияющие на характеристики суперконденсатора.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй степени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 « Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Теоретическая и методологическая основа исследования.

В основу диссертации легли результаты анализа известных научных исследований российских и зарубежных ученых. И накопленный опыт сотрудников научно-исследовательской лаборатории, связанный с ранее выполненными научными программами по смежным областям.

Информационная база исследования основана на анализе публикаций, посвященных формированию и функционированию суперконденсатора.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке модели конструкции суперконденсатора, выборе оптимального электродного материала и состава электролита.

Основные положения, выносимые на защиту. Проведенные исследования показали что:

- Наилучшие емкостные характеристики показали суперконденсаторы с электродным материалом в виде многостенных углеродных нанотрубок (удельная емкость СК больше по сравнению с другими материалами).
- Присутствие ионов железа в электродном материале вызывает появление редокс-потенциала и окислительно-восстановительных реакций, что в свою очередь вызывает увеличение удельной емкости суперконденсатора.
- Суперконденсаторы использующие кислотные электролиты и большую концентрацию электролита показали более высокие емкостные характеристики.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней показаны полученные зависимости влияния свойств и типов компонентов суперконденсатора на его емкостные характеристики. Предложен подход к анализу воздействия свойств компонентов суперконденсатора на его емкостные характеристики.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе предложенной модели конструкции суперконденсатора возможно проведение детального анализа свойств компонентов суперконденсатора наиболее влияющих на его емкостные характеристики.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на 55-й Юбилейной Научной Конференции Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в одной опубликованной работе общим объемом 1,0 п.л.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 53 страниц. Работа содержит 28 рисунка. Библиографический список включает 52 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы подбора оптимального электродного материала, которые преимущественно используются в конструкциях перспективных СК, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются историческое описание появления научного фундамента для создания суперконденсатора, принцип устройства и описание работы, типы наиболее перспективных электродных материалов для использования в суперконденсаторах, влияние электролитических конструк-

тивных компонентов на свойства суперконденсаторов, предназначение сепаратора и метод измерения емкостных характеристик. Приведен анализ современного состояния суперконденсаторов и перспективы их использования.

Во второй главе представлена модельная конструкция суперконденсатора. Показаны используемые в работе типы электродного материала.

В третьей главе представлены результаты анализа влияния электродного материала на характеристики суперконденсатора.

В четвертой главе представлены результаты анализа влияния состава электролита на емкостные характеристики суперконденсатора.

В выводах кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены результаты экспериментов по определению оптимальных материалов и их соотношений для суперконденсатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были исследованы зависимости емкостных характеристик суперконденсаторов с двойным электрическим слоем от типа электродного материала и концентрации электролита. Для выполнения этой работы в качестве углеродного материала были использованы: многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ производства «Fibermax»), одностенные углеродные нанотрубки (производства «OCSIAL» и ООО «Черноголовка»), графен, и активированный уголь.

В качестве электролита в работе использовали водные растворы гидроксида калия различной концентрации и серной кислоты.

В качестве поверхностно-активного реагента (ПАВ) в работе использован изопропиловый спирт (C_3H_7OH), широко используемый при изготовлении конструкций суперконденсаторов.

Электродный материал обрабатывали в парах C_3H_7OH . Для исследования СК использовался метод циклические вольтамперометрии в окне потенциала $\pm 1V$, со скоростью развертки $0,1 V/c$, число циклов 10-20.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что:

1. Суперконденсаторы с МУНТ в качестве электродного материала имеют более высокие значения удельной емкости, чем при использовании других материалов.

2. Суперконденсаторы использующие кислотные электролиты и большую концентрацию электролита показали более высокие емкостные

характеристики.

3. Наличие примесей металлов в электродном материале увеличивает емкость СК за счет появления окислительно-восстановительных реакций.

Проведенные исследования позволяют выделить главные особенности формирования суперконденсаторов обладающих наибольшими емкостными характеристиками, экологически приемлемых для окружающей среды, использующих дешевые и доступные углеродные материалы для электродного компонента суперконденсатора и наиболее подходящие электролитические вещества.

В работе была использована конструкция суперконденсатора, преимуществом которой является использование дешевых демпферного и токопроводящего материалов. Так же использовалась польсульфоновая мембрана, разработанной в РБ для коммерческого использования.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Черепко М.А. Особенности формирования электродной структуры в суперконденсаторах / Иванов К.В., Черепко М.А. // 55-я Юбилейная Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР - 2019