

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Чжо Зо Лвина

на тему:

«Исследование и разработка элементов и систем накопления электрической энергии, интегрирующих два механизма накопления в двойном электрическом слое и за счёт протекания химических процессов»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 16.12.2020г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 12.10.2020, протокол № 22.

Диссертация выполнена на кафедре «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ)».

Научный руководитель – доктор технических наук, Лауреат премии Правительства РФ, Заслуженный работник высшего профессионального образования, профессор Слепцов Владимир Владимирович – работает заведующим кафедрой «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ)».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (Протокол № 22 от 12.10.2020) в составе:

1. Кожитов Лев Васильевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ «МИСиС» - председатель комиссии;

2. Мурашев Виктор Николаевич – профессор, д.т.н., профессор кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ «МИСиС»;

3. Астахов Михаил Васильевич, д.х.н., профессор, заведующий кафедрой физической химии НИТУ «МИСиС»;

4. Панфилов Юрий Васильевич, д.т.н., заведующий кафедрой электронных технологий в машиностроении Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана);

5. Белянин Алексей Федорович, д.т.н., профессор, начальник отдела ИТО «Радиофотоника» АО «Центральный научно-исследовательский технологический институт «Техномаш».

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- проведены теоретические исследования процессов накопления электрической энергии в системах, интегрирующих два механизма накопления в двойном электрическом слое (ДЭС) и за счёт протекания химических процессов, предложена физико-математическая модель накопления электрической энергии в гибридных конденсаторных структурах, которая показывает, что в обоих случаях накопление энергии происходит за счёт изменения энергии электронов, принимающих участие в электрохимическом процессе или накапливающихся в ДЭС. Установлено, что в результате формирования наноструктуры на высокоразвитой поверхности углеродного материала типа «Бусофит», появляется возможность снижения удельной плотности тока при сохранении токовой нагрузки на ячейке, что приводит к снижению в ней выделения тепла и, соответственно, повышению уровня безопасности в процессе работы. Проведена теоретическая оценка удельной энергии, которая может накапливаться в конденсаторных структурах;

- разработаны физико-технические основы тонкоплёночного технологического комплекса для формирования электродных материалов на основе гибкой углеродной матрицы с высокоразвитой наноструктурированной поверхностью для конденсаторов с псевдоёмкостью и гибридных конденсаторов;

- созданы базовые элементы оборудования и конструкция экспериментальной линии формирования электродных материалов на основе гибкой углеродной матрицы с высокоразвитой поверхностью для гибридных конденсаторных структур и конденсаторов с псевдоёмкостью. Исследованы свойства электродных материалов. Показано, что удельные энергоёмкости гибридных сверхъёмких конденсаторных структур (СКС) на основе кобальтата лития и конденсаторы с псевдоёмкостью на основе оксида марганца, имеют значения, превышающие удельную энергоёмкость СКС в 4,5 и 4,8 раза соответственно в сравнении с конденсаторами, накапливающими энергию только в ДЭС. При этом значение накопленной удельной энергии может равняться 50-125 Вт*час/кг в ячейке, а удельная мощность может изменяться в диапазоне 2,5-8,0 кВт/кг;

- разработана конструкция и проведены испытания гибридного интеллектуального источника тока на основе химических источников тока (ХИТ), СКС, разработана система контроля и управления (СКУ), которая обеспечивает нулевое время переключения от централизованного сетевого питания на систему бесперебойного питания.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- изучены физико-химические процессы накопления электрической энергии на поверхности твёрдого тела и предложена физико-математическая модель системы накопления электрической энергии в гибридных конденсаторных структурах, в которых энергия накапливается в ДЭС и за счёт протекания химических процессов. Установлено, что в результате снижения толщины химических активного материала появляется возможность снижения удельной плотности тока и электрического сопротивления электродного материала, что приводит к росту электрической ёмкости конденсаторной ячейки и снижению выделения тепла в процессе заряда и разряда;

- разработаны физико-технические основы тонкоплёночного технологического комплекса для формирования электродных материалов на основе гибкой углеродной матрицы с высокоразвитой поверхностью (более $1000 \text{ м}^2/\text{г}$) для конденсаторов с псевдоёмкостью и гибридных конденсаторов. Созданы базовые элементы оборудования и конструкция экспериментальной линии формирования электродных материалов на основе гибкой углеродной матрицы с высокоразвитой поверхностью;

- показано, что исходная углеродная матрица на основе ткани типа «Бусофит 140» при нагреве от 50 до 600°C теряет 3,5% своей массы, а на основе модифицированной титаном ткани типа «Бусофит 140» теряет 2,5% своей массы, и процесс, вплоть до 1000°C , является экзотермическим;

- модификация ткани типа «Бусофит» титаном позволяет создать новый электродный материал, обеспечивающий увеличение энергоёмкости конденсатора в 2-3 раза. Дополнительная модификация в щелочных растворах увеличивает величину потенциалов до 6,0 В и удельную ёмкость электродного материала до 40-60 Ф/г. При этом значение запасённой удельной энергии в электролитической ячейке может равняться 50-70 Вт*час/кг, а удельная мощность может изменяться в диапазоне 2,5-8,0 кВт/кг.;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключается в следующем:

- в создании оборудования и тонкоплёночной лабораторной технологии получения электродных материалов на основе гибкой углеродной матрицы с высокоразвитой поверхностью (более $1000 \text{ м}^2/\text{г}$) для конденсаторных электролитических ячеек;

- разработана конструкция и проведены испытания гибридного интеллектуального источника тока на основе ХИТ, СКС и СКУ, которая обеспечивает нулевое время переключения от централизованного сетевого питания на систему бесперебойного питания;

- испытана работоспособность на стенде, в комплекте с запорной арматурой трубопроводного транспорта, гибридного интеллектуального источника накопления и хранения электрической энергии. Показано, что система обеспечивает нулевое время переключения от сетевого питания на аварийное без изменения функциональных характеристик. Расширение возможности практического применения такой системы обеспечивает частотно управляемый инвертор. Устройство предназначено для питания стандартного трёхфазного асинхронного двигателя 220/380В от источника постоянного тока $24В \pm 15\%$ с возможностью регулировки частоты вращения в пределах от 90-400% от номинальной частоты вращения (для самого распространенного двигателя с номинальной частотой вращения 2800 об/мин. Частота вращения меняется в пределах от 280 до 11200 об/мин.). Устройство может применяться для питания оборудования, содержащего электроприводы и другие потребители электрической энергии;

- в приложениях содержатся акты о внедрении результатов диссертационной работы в производственные и учебные процессы МАИ:

- диссертационная работа выполнена в рамках ПНИЭР «Исследование и разработка конструктивно-технологических решений, обеспечивающих создание систем накопления электрической энергии с удельной энергоёмкостью 220-500 Вт*ч/кг и выше для трубопроводного транспорта», выполняемой при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России. Соглашение о предоставлении субсидии №14.577.21.0275 от 26.09.2017 г. Уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X02753.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях, использованы как аналитические, так и расчетные данные других авторов, которые совпадают с экспериментальными исследованиями, полученными в диссертационной работе. В работе были использованы перспективные технологии изготовления электродных материалов и образцов, среди которых вакуумная и плазменная технологии для металлизации углеродной матрицы, вакуумная технология пропитки электродных материалов электролитом и химически активным веществом, современные экспериментальные методы исследования (импедансная спектроскопия, электронная спектроскопия, инструментальные методы исследования химического состава поверхности твердого тела).

Идеи, использованные в диссертации, базируются на анализе экспериментальных материалов и передового опыта в области создания гибридных систем накопления электрической энергии.

Современные экспериментальные методы исследования, многочисленные обсуждения результатов работы на конференциях и публикации в ведущих отечественных и зарубежных журналах позволяют характеризовать полученные в работе результаты, как надёжные и достоверные.

Личный вклад соискателя состоит в том, что результаты, составившие основу диссертации, получены лично автором или при его определяющем участии. Автором выполнен анализ современного состояния в области получения наночастиц материалов и применения данных материалов, совместно с научным руководителем выбраны направления исследования, сформулированы задачи и намечены пути их решения для получения электродных материалов с заданными свойствами. Автор принимал непосредственное участие в разработке и сборке рулонной установки нанесения слоёв титана на углеродную матрицу, проводил измерения полученных материалов, занимался сборкой экспериментальных ячеек накопителей энергии на двойном электрическом слое, проводил измерения полученных образцов и обработку результатов.

Основные результаты диссертационной работы представлены и апробированы на конференциях всероссийского и международного уровней, опубликовано 2 печатные работы в изданиях, входящих в рекомендуемый перечень ВАК РФ и в базы Web of Science/Scopus.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, учёной степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация. Чжоу Лэин соответствует критериям п.2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней, на основании выполненных автором исследований, содержится решение задачи, имеющей существенное значение в области наноматериалов и нанотехнологий для электроники (в части создания встроенных источников тока и технологий защиты электронных средств от биокоррозии) и биотехнологии (в части создания биоцидных материалов без мутагенного воздействия на клеточные структуры). Полученные в работе результаты имеют важное научное значение и являются перспективными в решении практических задач, в частности, создания технологий накопления, хранения и транспорта электрической энергии.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Чжоу Лэину учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и

оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4, против 1, недействительных бюллетеней 1.

Председатель Экспертной комиссии



подпись

Л.В. Кожитов

16.12.2020