

Заключение диссертационного совета МГУ.013.3

по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 14 декабря 2023 г. № 19

О присуждении Большину Даниилу Сергеевичу, гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Электрокинетические явления в потоке электролита на поверхности гидрогеля как основа источника электроэнергии для имплантируемых устройств» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 19 октября 2023 г., протокол № 17.

Соискатель Большин Даниил Сергеевич, 1995 года рождения, в 2018 году окончил магистратуру физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», в 2022 году окончил аспирантуру того же ВУЗа.

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в отделении биотехнологий и биоэнергетики комплекса НБИКС в НИЦ «Курчатовский институт».

Диссертация выполнена на кафедре общей физики и молекулярной электроники физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель – Кашкаров Павел Константинович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики и молекулярной электроники физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Галлямов Марат Олегович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор РАН, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»;

Тамеев Алексей Раисович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории электронных и фотонных процессов в полимерных наноматериалах Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук»;

Залыгин Антон Владленович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной биофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 5 опубликованных работ, все по теме диссертации, из них 3 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Имеются 2 патента.

Перечень статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus и RSCI:

1. Большин Д.С. Электрокинетические свойства гидрогеля на основе ПВС, ксантана и ПЭДОТ ПСС / Большин Д.С., Готовцев П.М., Кашкаров П.К.// Российские нанотехнологии. – 2022. – Т. 17, № 6. – С. 765-776.

Bolshin D.S. Electrokinetic Properties of a Hydrogel Based on PVA, Xanthan, and PEDOT:PSS / Bolshin D.S., Gotovtsev P.M., Kashkarov P.K.//Nanotechnologies in Russia. – 2022. – V. 17, no. 6. – P. 794-804. JIF=0,7 (WoS). Вклад автора – 0,9.

2. Большин Д.С. Изучение электропроводящих гидрогелей на основе ксантана и ПЭДОТ ПСС с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света / Большин Д.С., Кашкаров П.К.// Российские нанотехнологии. – 2022. – Т. 17, № 3. – С. 385-393.

Bolshin D.S. Study of Conductive Hydrogels Based on Xanthan and PEDOT PSS Using Raman Spectroscopy / Bolshin D.S., Kashkarov P.K.//Nanotechnologies in Russia. – 2022. – V. 17, no. 3. – P. 380-388. JIF=0,7 (WoS). Вклад автора – 0,9.

3. Большин Д.С. Микроразмерные источники энергии для имплантируемых и носимых медицинских устройств / Плеханова Ю.В., Тарасов С.Е., Сомов А.С., Большин Д.С., Вишневецкая М.В., Готовцев П.М., Решетиллов А.Н.// Российские нанотехнологии. – 2019. – Т. 14, № 11. – С. 3-14.

Bolshin D.S. Microsize EnergySources for Implantable and Wearable Medical Devices / Plekhanova Yu V., Tarasov S.E., Somov A.S., Bol'shin D.S., Vishnevskaya M.V., Gotovtsev P.M., Reshetilov A.N. //Nanotechnologies in Russia. – 2019. – V. 14, no. 11. – P. 511-522. JIF=0,7 (WoS). Вклад автора – 0,5.

Патенты:

1. Большин Д.С. Программный комплекс полного цикла обработки спектров комбинационного рассеяния / Готовцев П.М., Кашкаров П.К., Большин Д.С. – Патент RU2020617261. 11.06.2020 г.

2. Большин Д.С. Программный комплекс для полуавтоматической обработки, анализа и визуализации спектров комбинационного рассеяния / Готовцев П.М., Большин Д.С., Кашкаров П.К. – Патент RU2019665513. 08.11.2019 г.

На автореферат поступили 2 дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной квалификацией и наличием публикаций в области физики конденсированного состояния.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании совокупности выполненных автором исследований

получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие значение для развития физики конденсированного состояния.

Диссертационный совет считает достаточной апробацию результатов, полученных в диссертационной работе. Несмотря на то, что результаты диссертации опубликованы в одном издании из числа рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности, материалы диссертации также отражены в 2 патентах по теме диссертации, в главе в коллективной монографии, и прошли апробацию на 3 профильных всероссийских и международных конференциях.

Основные результаты работы:

1. Предложен подход к решению задачи энергообеспечения имплантируемых устройств с использованием электрокинетических генераторов на потоке физиологических жидкостей. Создан рабочий прототип электрокинетического генератора, в котором в качестве рабочего тела используется проводящий биосовместимый гидрогель. Впервые продемонстрирован способ использования сѐма электроэнергии в электрокинетической ячейке через заряженную поверхность, то есть через гидрогель.

2. Экспериментально зафиксирован и описан нетипичный, по сравнению с известными из научной литературы примерами, электрокинетический эффект при протекании электролита по поверхности проводящего гидрогеля.

3. Синтезированы три новых вида гидрогелей (криогелей), в основу которых заложена матрица-каркас из поливинилового спирта (ПВС), с добавлением полимерного комплекса поли(3,4-этилендиокситиофен) полистирен сульфонат (ПЭДОТ ПСС) и ксантана. Изучены их массообменные, структурные и электрофизические свойства. Для набухших гидрогелей созданы модели электрофизических свойств в виде эквивалентных электрических схем. Обнаружен, описан и воспроизведен механизм формирования градиента концентрации носителей заряда в аморфном полимерном материале, то есть в набухшем гидрогеле.

4. Разработаны новые методы моделирования и алгоритмы обработки экспериментальных данных, такие как: оптический метод сравнения окисленности ПЭДОТ в разных гидрогелях, двухступенчатый алгоритм построения моделей эквивалентной электрической цепи, метод сглаживания спектров с интервальной оценкой гетероскедастичности, метод исключения артефактов из спектров через множественное сглаживание и выделения главной компоненты.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. В нерастворимом, не подверженном коллапсу, биосовместимом проводящем гидрогеле из ПВС, ксантана и проводящего полимерного комплекса ПЭДОТ ПСС в массовом соотношении 2,5:2,5:0,78 ксантан выполняет не только структурные функции, но и функции допанта для цепей ПЭДОТ.

2. В потоке электролита по поверхности синтезированного проводящего гидрогеля возникает нетипичный электрокинетический эффект: вместо известной из научной

литературы линейной зависимости потенциала потока от скорости электролита, потенциала потока растет со временем при постоянной скорости. Причиной аномального электрокинетического эффекта является постепенное формирование эффективного заряда на поверхности гидрогеля из-за релаксации приповерхностных слоев гидрогеля.

3. Добавление проводящего полимера к ПВС-ксантановой матрице делает гидрогель пригодным для использования в качестве элемента электродной системы, так как наличие проводящего полимера придает набухшему гидрогелю полупроводниковые свойства: уменьшает контактное сопротивление набухшего гидрогеля с металлическим электродом на три порядка и делает возможным объемный перенос заряда посредством дырочной проводимости.

4. Использование проводящего полимера в электрокинетической ячейке позволяет использовать в качестве электрода само рабочее тело. Это дает возможность реализовать съем электроэнергии, практически не реализуемый с использованием твердых материалов. Альтернативная конфигурация позволяет повысить эффективность работы ячейки. Средняя мощность которой удалось достичь на прототипе электрокинетического генератора до ее выхода на уровень насыщения составляет 180 ± 15 нВт.

5. Добавление проводящего полимера к ПВС-ксантановой матрице придает гидрогелю новое свойство – способность запасать электроэнергию, которое определяется механизмом возникновения градиента концентрации носителей заряда в объеме набухшего в физиологическом растворе гидрогеля под действием внешнего электрического поля.

На заседании 14.12.2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Большину Даниилу Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 12, «против» – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета МГУ.013.3
доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАН

А.Р. Хохлов

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.013.3
кандидат физико-математических наук, доцент

И.А. Малышкина

14 декабря 2023 г.

Подписи А.Р. Хохлова и И.А. Малышкиной заверяю.
Ученый секретарь физического факультета МГУ,
профессор

В.А. Караваяв