1. Тема проекта: ***AP08856683 «Разработка гибридных суперконденсаторных электродов на основе наноструктурированных оксидов переходных металлов/графен/3D-пористый металл»***

***Актуальность****:* В настоящее время энергопотребление растёт высокими темпами и разработка альтернативных источников энергии, а также устройств по её накоплению и хранению имеет актуальное и первостепенное значение. Несмотря на то, что современный мировой рынок представлен вполне оправдавшими себя устройствами для выработки и хранения электроэнергии – топливными элементами, аккумуляторами, гальваническими элементами, конденсаторами и суперконденсаторами, однако поиск более эффективных устройств не прекращается. Это объясняется тем, что представленные устройства, наряду с преимуществами, имеют и недостатки.

Суперконденсаторы привлекают большое внимание из-за их практически неограниченного срока службы и высокой ёмкостью накопления энергии, что является желательным для применения в гибридных электромобилях, медицинских приборах, бытовых приборах и системах резервного питания. В отличие от аккумуляторов, они имеют следующие преимущества: быстрая зарядка; могут работать в широком температурном диапазоне - от -40 до +70°С; практически не нуждаются в обслуживании на протяжении всего срока службы; отсутствие химических реакций делает их практически безопасными в процессе работы.

Несмотря на значительное количество публикаций по суперконденсаторам, вопрос по получению наиболее эффективного суперконденсатора остаётся до конца не решенным. Это объясняется огромным разнообразием материалов, применяемых для электродов суперконденсаторов и различными научными подходами при их создании. Однако, несмотря на разнообразие подходов при исследовании суперконденсаторов, основное внимание учёных направлено на получение новых недорогих в производстве форм материалов с высокой удельной поверхностью и развитой нанопористой структурой, а также новых высокоэнергетических электролитов. В конечном итоге, должны быть получены электроды, имеющие достаточно высокую электрическую емкость, низкое значение удельного электрического сопротивления, высокие зарядно-разрядные характеристики, механическую прочность, химическую инертность к компонентам электролита и высокую теплопроводность для рассеивания тепловыделения вследствие омических потерь.

***Цель проекта*** – получить высокоэффективные и стабильные **суперконденсаторы** с гибкими гибридными электродами на основе ОПМ/графен/3-D пористый металл, обладающие большой удельной энергией и мощностью.

***Ожидаемые результаты:*** В данном проекте предлагается решение задачи по увеличению эффективности суперконденсатора с электродом на основе оксидов переходных металлов с применением простого и недорогого способа его изготовления. Новизной проекта является: разработка метода получения субмикронного пористого металла на металлической фольге с высокой удельной поверхностью с последующим выращиванием на нем графена и дальнейшим осаждением наноструктурированных ОПМ; создание гибкого гибридного электрода, на основе композиции – ОПМ/графен/3-D пористый металл и изготовление на его базе суперконденсаторов с высокой удельной энергией и мощностью. В конечном итоге будут получены и исследованы гибкие гибридные электроды на основе наноструктурированных оксидов переходных металлов (ОПМ)/графен/3-D пористый металл. Гибридный электрод будет иметь более высокую эффективную площадь поверхности за счет значительного увеличения массы ОПМ на единицу объёма в результате осаждения на пористую структуру токосъёмника.

В такой гибридной конфигурации электрода графен действует как емкостной двойной электрический слой и как высокопереносной слой заряда, а пористые металлические подложки выполняют роль механической опоры и токопроводящего токосъемника. Взаимосвязанная открытая пористость токосъемника обеспечивает большой поверхностный контакт электролита с активной поверхностью в малом объёме и беспрепятственную подвижность носителей заряда, а тонкий пористый наноструктурированный слой ОПМ улучшает электрохимические характеристики электродов. Предложенные в проекте технические решения не уступают по новизне и экономической рентабельности зарубежным аналогам.

***Достигнутые результаты:*** В настоящее время отработан метод получения пористого никеля на поверхности металлической фольги (токосъёмник) с помощью порообразователя. Разработан способ осаждения малослойного графена на поверхности пористых образцов токосъёмника методом CVD и в пламени. Установлено, что метод CVD позволяет получать на поверхности токосъёмника малодефектный 2-3 слойный графен, а в пламени – более 5 слоёв с наличием аморфной структуры и с большей дефектностью. Установлено, что поверхность токосъёмника с графеном коррозионно-устойчива в щелочном и кислотном электролитах, по сравнению с токосъёмником без углеродного покрытия.

Разработаны технологические методы осаждения пористых структур оксидов переходных металлов (ОПМ) (оксида марганца MnO2, оксида кобальта Co3O4 и оксида железа Fe2O3), на пористую поверхность токосъемника с графеновым покрытием, обеспечивающих большую удельную поверхность и большую контактную поверхность электролита с активным электродным материалом ОПМ/графен.

Проведены предварительного исследования электрохимических свойств полученных гибридных электродов. Установлено, что удельная емкость электродного материала на основе MnO2 без графена – 196 Ф/г, с графеном – 281 Ф/г при плотности тока 1 А/г. Удельная емкость суперконденсаторов на основе Co3O4 без графена – 1008 Ф/г, с графеном – 1237 Ф/г при плотности тока 1 А/г. Кулоновская эффективность электрода на основе оксида кобальта в трёхэлектродной ячейке составляет 95%, а на основе оксида марганца составляет 99% при плотности тока 5А/г, что говорит о медленном процессе саморазрядки суперконденсаторов. Сохранение емкости ячейки на основе оксидов переходных металлов составляет примерно 98% даже после 5000 циклов, что характеризует устойчивость созданных электродов и длительный процесс их эксплуатации.

По результатам физико-химических исследований образцов электродов со структурой ОПМ/графен/3D-пористый металл/металлическая фольга для дальнейшего исследования выбраны электроды с активным материалом на основе MnO2 и Co3O4.

***Члены исследовательской группы:***

1) Приходько Н.Г., гнс, д.х.н., проф., руководитель проекта. Author ID в Scopus – 55147268600, Researcher ID Web of Science – О-5687-2017, ORCID – https://orcid.org/0000-0001-7733-0903. Индекс Хирша – 5.

2) Елеуов М.А., снс, PhD докторант, ответ исполнитель. Author ID в Scopus – 57210911341, ORCID – https://orcid.org/**0000-0001-7488-7431**. Индекс Хирша – 6.

3) Лесбаев Б.Т., внс, к.х.н. Author ID в Scopus – 55151401700, Researcher ID Web of Science – B-1187-2015, ORCID – https://orcid.org/0000-0002-0309-1935. Индекс Хирша – 6.

4) Таурбеков А.Т., нс, PhD докторант. Author ID в Scopus – 57213185526, ORCID – https://orcid.org/0000-0002-4588-1521. Индекс Хирша – 1.

5) Рахымжан Н.Б., снс, магистр. Author ID в Scopus – 57193263621, Researcher ID Web of Science – ABF-2767-2021, ORCID – https://orcid.org/0000-0003-4342-907X. Индекс Хирша – 1.

6) Әбдicаттар Ә.Ә., инж., магистрант, исполнитель. Author ID в Scopus – 57226819581.

***Список публикаций и патентов по проекту***

1. Патент на ПМ № 6564 «Способ изготов-ления пористого токосъемника для гибридных суперконденсаторов» от 22.10.2021г. / Елеуов М.А., Әбдісаттар Ә.Ә., Приходько Н.Г., Таурбеков А.Т., Толынбеков А.Б., Асқарұлы Қ.

2. Приходько Н.Г., Елеуов М.А., Рахымжан Н.Б., Таурбеков А.Т., Әбдісаттар Ә.Ә., Лесбаев Б.Т., Толынбеков А.Б., Асқарұлы Қ. Получение графена на пористом токосъемнике для гибридных суперконденсаторов // Materials XII International Symposium «Combustion and Plasmochemistry. Physics and Chemistry of Material Science». – Almaty. – October 12-13, 2021. – С.38-39.