

ДАЙДЖЕСТ «ГРАФЕН, ГРАФИТ»

Москва, 2024 г.

Уважаемый читатель, представляем вашему вниманию дайджест отечественных научно-исследовательских работ и научно-технических разработок в области изучения свойств, получения и применения графена, подготовленный РЭА Минэнерго России.

РЭА Минэнерго России формирует базы и банки данных и организует распространение информации о результатах научно-технической деятельности предприятий и организаций в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 24 июля 1997 года № 950 «Об утверждении Положения о государственной системе научно-технической информации».

Первая информация о графене появилась в 2004 году, когда удалось снять с грифеля графитового карандаша слой углерода атомарной толщины. Графен обладает целым рядом уникальных свойств – хорошая теплопроводность, гибкость, упругость, прозрачность на уровне 97%, прочность, превышающая прочность стали и алмаза, способность хорошо проводить электрический ток. Кроме этого, графен химически нейтрален при нормальных условиях, его окисление начинается при температуре выше 400°C.

Такой набор свойств и их сочетаний определил широкий спектр возможного применения этого материала. Прежде всего, это создание полностью углеродной электроники без использования традиционных полупроводников и металлов. Графен может быть использован в качестве особо чувствительного сенсора для обнаружения отдельных молекул химических веществ. На основе графена могут быть созданы электроды в суперконденсаторах с удельной энергоемкостью до 250 Вт·ч/кг.

Уже сейчас графен используется в различных областях и порой находит совершенно неожиданное применение: от изготовления более легких и прочных теннисных ракеток до использования в составе одежды, для питания внешних светодиодов, от мониторинга и борьбы с диабетом до доставки лекарства в раковые клетки, от спрей-покрытия для защиты кузова автомобиля до инновационных прочных и легких бронежилетов. Графеновые лампочки экономичнее и долговечнее светодиодных аналогов.

Изучением графена, его свойств, методов получения и областей применения занимаются ученые из разных стран мира. В дайджест вошла информация по работам, выполненным российскими учеными в рамках НИОКТР (655 док.), диссертаций (112 док.), патентов (66 док.), а также ГОСТов (6 док.), ТУ (7 док.), ОСТов (1 док.), руководящих документов (РД) (2 док.), национальных стандартов (1 док.).

Перечень названий документов приведен в [Указателе](#).

Источники информации

База данных «Промышленные инновации», Единый справочно-информационный фонд РЭА Минэнерго России, Единая государственная информационная система учета результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, Федеральный институт промышленной собственности, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственная публичная научно-техническая библиотека России».

СОДЕРЖАНИЕ

ГРАФЕН, ГРАФИТ – исследование свойств

НИОКТР	4
ДИССЕРТАЦИИ.....	117
ГОСТ	131
ТУ (ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ)	131

ГРАФЕН – производство

НИОКТР	131
ДИССЕРТАЦИИ.....	186
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ	198
ПАТЕНТЫ	198

ГРАФЕН, терморасширенный ГРАФИТ – применение

НИОКТР	205
ДИССЕРТАЦИИ.....	245
ГОСТ	252
ТУ (ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ)	253
ОСТ	254
РД (РУКОВОДЯЩИЕ ДОКУМЕНТЫ).....	254
ПАТЕНТЫ	254

№ 122051600013-5, 16.05.2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ МЕХАНОАКТИВАЦИИ И ФЛОТАЦИИ ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ ПЫЛЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Графит имеет широкую область применения в России (металлургическое использование, огнеупорные материалы, электрические машины и установки, в химической, горнодобывающей промышленности), которая сегодня значительно расширяется за счет использования производного графита - графена для создания композитных материалов и использования в стратегических областях промышленности.

Разведанные месторождения графита имеются на Дальнем Востоке, в Сибири, Карелии, Якутии. Между тем, Россия испытывает серьезный дефицит графита. Наиболее дефицитным является крупночешуйчатый графит. Ежегодные потребности в кристаллическом графите лишь примерно на 1/3 обеспечиваются собственной сырьевой базой.

Сырьевая база чешуйчатого кристаллического графита в нашей стране базируется только в двух регионах - Челябинской и Еврейской автономной областях. В Челябинской области природный графит добывается на Тайгинском месторождении (промышленная графитизация которого не подтвердилась в ходе эксплуатационной разведки) и производится искусственный графит из углеродистого сырья, преимущественно кокса. Потребности в графите растут и, как было отмечено на круглом столе в Совете Федерации для самодостаточной углеграфитовой отрасли в России необходимо наличие собственного производства игольчатого кокса, которой пока нет и не будет в ближайшей перспективе.

В этих условиях кроме ввода в эксплуатацию новых графитовых месторождений в качестве необходимых мер для получения дополнительного высококачественного графита является совершенствование и разработка технологий обогащения природного труднообогатимого графита Тайгинского месторождения и графитсодержащих техногенных пылей, которые являются побочным продуктом пирометаллургических процессов одной из ключевых областей промышленности Челябинской области - металлургии (Мечел, Магнитогорский металлургический комбинат): графитизированные пыли, спелевый или киш-графит. Этот искусственный материал может быть источником крупночешуйчатого графита, который является уникальным материалом для получения композитов, вспученного, интеркалированного графита, сорбента нефтепродуктов и графена.

Разработчик: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»

№ AAAA-A20-120031990034-6, 18.04.2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРСИРОВАННЫХ И ТЯЖЕЛЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РЕСУРСА ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В настоящее время причины деградации функциональных материалов литиевого аккумулятора (катодного, анодного материалов и электролита) при работе в тяжелых режимах недостаточно изучены. Для понимания процессов, происходящих в материалах аккумулятора при тяжелых и форсированных нагрузочных режимах необходимо решить ряд фундаментальных задач, связанных с пониманием механизма влияния пиковых токовых нагрузок и режима зарядно-разрядных циклов на электрохимические и другие физико-химические процессы, протекающие в электродных материалах и в электролите.

Целью проекта является исследование влияния тяжелых режимов заряда и разряда на деградацию катодного и анодного материалов литий-ионных аккумуляторов LFP при использовании соединения LiFePO_4 в качестве базового катодного материала и графита в качестве анодного материала.

В результате исследований, проведенных в рамках проекта, будут получены следующие основные результаты: - выделены основные эксплуатационные факторы, определяющие деградацию литий-ионных аккумуляторов; - разработана методика испытаний аккумуляторов на специализированном стенде, имитирующем реальные эксплуатационные режимы; - предложена модель процесса деградации материалов литий-ионных аккумуляторов; - создана обобщенная модель, описывающая зависимость степени деградации материала от режима нагрузки; - выработаны практические рекомендации по применению аккумуляторных батарей на электротранспортных средствах с учетом их деградации.

Разработчик: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

№ AAAA-A19-119012990031-8, 20.04.2022

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФИТА

Оксид графита (ОГ) является перспективным материалом для изготовления механически прочных мембран для фильтрации и разделения газов и жидкостей. В настоящем проекте предлагается выполнить комплексное экспериментальное исследование макроскопических свойств (сорбция, набухание, фазовые переходы) для ряда слоистых структур на основе различных типов оксида графита и различных полярных жидкостей.

Разработчик: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА»

№ АААА-А16-116021010397-3, 05.02.2016

**ЭФФЕКТЫ ПАМЯТИ В НАНОКОМПОЗИТАХ
ГРАФЕНА: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
АСПЕКТЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ**

Основной идеей проекта является разработка подхода к созданию элементной базы для нового типа вычислительных машин. Идея проекта исходит из новых принципов построения вычислительных машин, отличных от принятой идеологии отдельных блоков памяти и процессора (архитектура фон Неймана). В новом подходе устройства ячеек памяти будут непосредственно связаны друг с другом и будут влиять друг на друга, осуществляя вычисления непосредственно в памяти.

Предлагаемый проект ставит своей целью создание нового класса электронных устройств с памятью — мем-конденсаторов (конденсаторов с памятью). Существенная часть проекта заключается в синтезе и исследовании материалов на основе наноконкомпозитов графена для создания мем-конденсаторов. Используя различные типы графеновых наноконкомпозитов, будут исследованы различные возможности создания мем-конденсаторов, фундаментальные механизмы ёмкостной памяти и разрабатывать микроскопические и феноменологические модели этих устройств. Кроме того, будут исследованы возможности применения мем-конденсаторов в электронике, например, в обучаемых, программируемых и логических электронных цепях. Мем-конденсатор — радиоэлектронный компонент с двумя выводами, который был изобретен руководителем проекта совместно с Ди Вентра и Чуа в 2009 г. [M. Di Ventra, Y. V. Pershin and L. Chua, Proc. IEEE 97, 1717 (2009)]. Ёмкость таких устройств зависит от предыстории приложенных напряжений. В комбинации с мемристором (сопротивлением с памятью) и катушкой индуктивности с памятью, мем-конденсатор открывает новые и неисследованные возможности в электронике. В то время как область изучения мемристоров уже довольно развита, мем-конденсаторы гораздо менее изучены и количество экспериментально продемонстрированных систем с ёмкостной памятью крайне ограничено. Таким образом, задача получения устойчивой системы с ёмкостной памятью, которая могла быть довольно просто реализована и покрывала бы достаточно широкий диапазон значений ёмкости, является крайне актуальной.

Наноконкомпозиты на основе графена являются привлекательными кандидатами для экспериментального изготовления мем-конденсаторов. Лист графена является естественным плоским электродом конденсатора с высокой электрической проводимостью. При этом высокая механическая прочность представляет возможность его использования в качестве подвижной мембраны. Кроме того, метаматериалы на основе графена могут быть встроены между обкладками конденсатора для придания ему новых функциональных свойств. В последние годы исполнители проекта исследовали возможность нанесения на поверхность графена кластеров и слоев сульфидов и оксидов переходных металлов, электропроводящих полимеров. В проекте, в частности, предложены подходы использования полученного знания для изготовления мем-конденсаторов. Ожидается, что устройства с памятью найдут применения в настраиваемых и адаптируемых электронных цепях, нетрадиционных вычислительных системах, искусственных нейронных сетях и т. п. Мем-конденсаторы особенно привлекательны потому, что не требуют больших затрат энергии для изменения ёмкости, могут хранить информацию при выключенном

источнике питания и могут быть реализованы на основе наноматериалов.

До настоящего времени, композиты на основе графена не использовались в устройствах с ёмкостной памятью. Кроме того, будут исследованы фундаментальные механизмы ёмкостной памяти и сформулированы соответствующие модели этих механизмов для последующего моделирования и оптимизации мем-конденсаторов.

*Разработчик: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ
НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМ. А.В. НИКОЛАЕВА СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК*

№ АААА-А16-116012210341-2, 19.01.2016

**РАЗВИТИЕ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НОВЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И
НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР, В ТОМ ЧИСЛЕ С
ЭЛЕМЕНТАМИ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ**

Будут изготовлены лабораторные образцы резонансных дифракционных решеток с субволновым периодом. Будет выяснено, пригодна ли предложенная наноструктурная модель сверхпроводящего состояния для описания свойств ВТСП и неоднородных тонких сверхпроводящих пленок. Будут исследованы магнитотранспортные свойства многослойных структур на основе графена и других двумерных материалов. Изучены свойства фононной подсистемы двумерных кристаллов и ее влияние на электронные транспортные свойства. Будут изготовлены прототипы транзисторных структур на основе квазидвумерных кристаллических пленок и изучены возможности их использования. Будут исследованы магнитотуннельные эффекты и фотоэлектрические процессы в AlGaAs наногетеросистемах с InAs квантовыми точками и в системах InP-квантовая проволока/InAsP-квантовая точка и выявлены определяющие механизмы магнитотуннелирования, фотодетектирования и излучения индивидуальных фотонов в них; определены физические и структурные параметры эффективности фотодетектирования. Будут получены данные о морфологии и кристаллической структуре металлосодержащих наночастиц с высокой каталитической активностью, магнитных и оптически активных наночастиц (наночастиц благородных металлов, оксидов железа, цинка, титана и редкоземельных элементов) в исходном дисперсном состоянии, внутри полимерных матриц, на поверхности полимерных гранул и графена. Будет установлено влияние контактирующей среды на структуру и свойства наночастиц. Методом высоко-разрешающей электронной микроскопии будут исследованы упорядоченные мезоструктуры, построенные в процессе самоорганизации из нанопроводов или наностержней, для создания сенсорных систем для биологии и медицины на основе функциональных наноструктур. Будут разработаны сверхпроводниковые детекторы различных электромагнитных величин. Будут выяснены возможности использования сверхпроводящих структур в качестве элементов квантового компьютера.

*Разработчик: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ОСОБОЧИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК*