

2022-43

W

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ ХИМИИ И ФИТОТЕХНОЛОГИИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Диссертационный совет Д 02.21.629

На правах рукописи
УДК 546:682:532.574.7 (575.2)(04)

КУДАЙБЕРГЕНОВА ДИНАРА САБЫРОВНА

**СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУР ИНДИЯ И АЛЮМИНИЯ, ИЗУЧЕНИЕ
ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

W 05.16.08 – нанотехнологии. Наноструктурные материалы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Бишкек - 2022

Работа выполнена в лаборатории нанотехнологии Института химии и фитотехнологии Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Научный руководитель: Сулайманкулова Саадат Касымбаевна
доктор химических наук, профессор,
заведующая лабораторией нанотехнологии
Института химии и фитотехнологии
Национальной академии наук Кыргызской
Республики

Официальные оппоненты: Рогачев Александр Александрович
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент Национальной академии
наук Республики Беларусь

Насирдинова Гулзада Калиевна
кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры химии и технологии ее
обучения Кыргызского государственного
университета им. И. Арабаева

Ведущая организация: Институт неорганической химии им.
А. В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук,
лаборатория синтеза кластерных соединений и материалов (630090,
Российская Федерация, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 3).

Защита диссертации состоится 28 июня 2022 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 02.21.629 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) химических наук при Институте химии и фитотехнологии Национальной академии наук Кыргызской Республики и Ошском государственном университете по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265-а, конференц зал. Ссылка доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/d/0-quu-d2e-lwm>

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Национальной академии наук Кыргызской Республики (720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265-а), библиотеке Ошского государственного университета (723500, г. Ош, ул. Ленина, 331) и на сайте <http://www.vak.kg>

Автореферат разослан 27 мая 2022 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат химических наук,
старший научный сотрудник

Э. А. Шабданова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Полезные свойства индия (редкого и чрезвычайно рассеянного элемента) и его аналога алюминия усиливаются на порядки в наносостоянии [Т. Н. Lim, В. Ingham, К. Н. Kamarudinetal, 2010].

В настоящее время внедрение наноматериалов на основе индия и его аналога алюминия, набирает темпы в развитии экономики многих стран мира. Особенно, это важно для Кыргызстана с небольшими природными ресурсами и хрупкой экологией окружающей среды.

Эффективное использование наноматериалов на основе индия, как и алюминия, в значительной мере зависит от степени разработки новых продвинутых технологий получения наноструктур (кластеров, наночастиц, кластерных материалов, наноматериалов) и теоретической интерпретации полученных научных результатов.

Показано, что добавки наночастиц алюминия способствуют увеличению скорости и теплоты сгорания топлив [L. Galfetti, L. T. de Luca, F. Severini, 2006]. При этом скорость горения твердого ракетного топлива может быть в 5-20 раз выше при использовании нанопорошков алюминия в сравнении с добавлением частиц более крупных размеров. Наночастицы алюминия применяются в качестве добавок к защитным коррозионностойким покрытиям [D. E. Tallman, K. L. Levine, Ch. Siriprom, 2008]. Слой толщиной 10-13 нм достаточно для эффективного действия покрытия [H. G. Kim, J. I. Park, G. N. Lee, 2013]. Кроме того, внесение в состав покрытия алюминиевых частиц приводит к электрической бистабильности (два состояния различной проводимости при одном и том же подаваемом напряжении). Нанодисперсные порошки алюминия находят применение в водородной энергетике [А. П. Ильин, А. В. Коршунов, Л. О. Толбанова, 2007].

Эффект, характерный для металлических наночастиц, полученных по взрывным технологиям, аналогичным по многим характеристикам импульсной плазме в жидкости (ИПЖ), связан с наличием дополнительной или избыточной энергии.

В связи с изложенным выше мы предприняли актуальные исследования по синтезу наноструктур индия и алюминия в импульсной плазме, создаваемой в жидких дисперсионных средах.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями. Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института химии и фитотехнологии Национальной академии наук Кыргызской Республики по проекту «Разработка технологических

способов переработки металлических руд, минерального и органического сырья Кыргызской Республики с целью создания новых материалов». Раздел - «Создание новых материалов на основе высоких технологий». Подпроект «Наноматериалы из импульсной плазмы в жидкости» (№ 0003939).

Цель исследования. Синтез наноструктур индия и алюминия в импульсной плазме, создаваемой в жидких средах и изучение их фазового состава, морфологии и структуры с использованием современных методов исследования.

Задачи исследования:

1. Синтезировать наноструктур индия и алюминия в неравновесных условиях импульсной плазмы, создаваемой в жидких средах.

2. Проанализировать фазовый состав, морфологию и структуру продуктов наноструктурирования индия и алюминия в жидких углеводородах, деионизированной воде с использованием просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгенофазового анализа (РФА), Раман-спектроскопии и гранулометрического анализа.

3. Сравнить фазовый состав продуктов наноструктурирования индия и алюминия в зависимости от природы дисперсионной среды и энергии единичного импульса.

4. Изучить бактерицидную активность нанораствора индия.

5. Провести термодинамическое моделирование системы индий-гексан.

Научная новизна полученных результатов. Получены графеновые наноленты на поверхностях наночастиц индия и алюминия. Впервые изучены бактерицидные свойства раствора наночастиц индия. Проведено сравнение особенностей фазообразования индия и алюминия в импульсной плазме, создаваемой в жидких диэлектриках различной природы. Проведено термодинамическое моделирование системы индий-гексан в условиях импульсной плазмы.

Практическая значимость полученных результатов. Результаты исследований использованы для направленной разработки технологий получения наноструктур индия и алюминия, графеновых нанолент в импульсной плазме для развития нанотехнологий Кыргызстана. Получен патент Кыргызской Республики №1622 от 30.04.2014 «Способ получения графеновых нанолент».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Установлено, что при наноструктурировании индия и алюминия в гексане, этиловом и изопропиловом спирте, деионизированной воде с использованием энергии импульсной плазмы образуются черных дисперсных порошков, далее изученных методами электронномикроскопического, рентгенофазового анализов, Раман-спектроскопии и гранулометрического анализа.

2. Установлено, что фазовый состав, морфология и структура продуктов наноструктурирования индия и алюминия в жидких углеводородах, деионизированной воде зависят от природы дисперсионной среды и энергии единичного импульса. Во всех дисперсионных средах образуются металлические наночастицы индия тетрагональной симметрии. Оксид индия In_2O_3 формируется на поверхностях металлических наночастиц (дисперсионные среды: этиловый, изопропиловый спирты, деионизированная вода) в качестве протекторной пленки. При диспергировании индия в гексане при энергии единичного импульса 0,025 Дж формируются металлические наночастицы, размерами 9-40 нм, кристаллизующиеся в тетрагональной сингонии (14/mmm (139), параметры кристаллической решетки: $a=0,326$ нм, $c=0,495$ нм. Повышение энергии единичного импульса до 0,05 Дж приводит к образованию металлических наночастиц с такой же симметрией, закатанных в графеновые наноленты. Графеновые наноленты обнаружены на поверхностях наночастиц алюминия, полученных в толуоле.

3. Установлено, что бактерицидная активность нанораствора индия по отношению к *Bifidumbacterium* обусловлена энергонасыщенностью наночастиц индия.

4. В результате термодинамического моделирования системы индий-гексан установлено, что в реакционной зоне возникает восстановительная среда, способствующая преимущественному формированию металлических наночастиц индия.

Личный вклад соискателя заключается в проведении экспериментов на лабораторных установках с целью синтеза наноструктур индия и алюминия, анализа и обоснования полученных результатов. Автором синтезированы металлические наночастицы на основе индия и алюминия, самостоятельно изучен фазовый состав, морфология и структура полученных наноструктур, усвоены основы рентгенофазового анализа, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, раман-спектроскопии, проведены анализ и обсуждение полученных результатов с современных позиций нанонауки.

Апробация результатов исследования. Материалы диссертации доложены на: научно-практической конференции молодых ученых Кыргызстана. «Старт в большую науку» (г. Бишкек, 2013 г.), международной научно-практической конференции «Насриддин Исанов - видный государственный деятель Кыргызской Республики», посвященной 70-летию со дня рождения Н.И. Исанова, первого премьер-министра суверенного Кыргызстана, академика Инженерной академии СССР, (КГУСТА имени Н. Исанова, г. Бишкек, 2014), международном семинаре Kyrgyz-Korean Workshop on Nanotechnology 12-17 July 2015, Bishkek. National academy of sciences of Kyrgyz Republic Department of Materials Science and Engineering KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology),

международной научной конференции "Нанотехнологии, наноструктурные материалы: перспективы развития в Кыргызстане" (Бишкек, 2020).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По результатам диссертационной работы опубликовано 9 научных статей, из них 7 в изданиях индексируемых системой РИНЦ. Получен 1 патент Кыргызской Республики.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит и состоит из введения, обзора литературы, материала и методов исследования, главы результаты собственных исследований и их обсуждения, выводов, практических рекомендаций и списка использованной литературы, включающего 66 наименований. Работа изложена на 83 страницах компьютерного набора, содержит 8 таблиц и 30 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность исследований, освещены цель и задачи исследований, научная новизна, практическая и экономическая значимость полученных результатов, представлены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Глава 1. Обзор литературы. Индий, несмотря на его рассеянность и редкость, благодаря низкой температуре плавления, мягкости используется для антикоррозионных покрытий, немаловажно применение индия для покрытия подшипников в мощных двигателях внутреннего сгорания (например, в авиации и автостроении). Имеются перспективы использования индия и некоторых его соединений в полупроводниковой электронике.

Оптимальным решением проблемы потребления редкого и очень рассеянного индия является производство индиевых наноструктур миниатюризованными нанотехнологиями.

Глава 2. Методология и методы исследования. Материалами для электродов служили металлические индий и алюминий 99,99 %. В качестве среды использованы жидкие углеводороды марки "х.ч.", деионизированная вода.

2.1. Материалы и методы исследования

Рентгенофазовый анализ (РФА) продуктов наноструктурирования в импульсной плазме проводился по методу порошка на дифрактометре RigakuRINT-2500VHF с медным излучением и рентгеновский аппарат PANalytical с PIXcel3D детектором.

Просвечивающая электронная микроскопия. Были использованы электронные микроскопы JEOL-200FX, JEOLJEM-1400, HRTEM Jeol ARM 200F.

Растровая (сканирующая) электронная микроскопия (англ. ScanningElectronMicroscope, SEM). Был использован сканирующий электронный микроскоп JSM-5310LV и SEM Jeol 7001TTLS.

Раман-спектроскопия. Метод спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС или Раман-спектроскопия), основанный на регистрации неупругого рассеяния образцом лазерного излучения вследствие возбуждения различных фононных колебаний облучаемого образца, является неотъемлемой частью исследования графена.

2.2. Импульсная плазма в жидкости. Импульсная плазма, создаваемая в жидких средах (ИПЖ) и используемая в лаборатории нанотехнологии Института химии и химической технологии для создания наноструктур, один из эффективных методов наноструктурирования твердого тела.

Объект исследования: наноструктуры индия и алюминия из импульсной плазмы, создаваемой в жидких средах.

Предмет исследования: структура, фазовый состав, морфология наноструктур индия и алюминия в зависимости от энергии единичного импульса, природы дисперсионной среды с использованием рентгенофазового, гранулометрического, электронномикроскопического анализа, Раман-спектроскопии и квантовохимического моделирования.

Глава 3. Результаты собственных исследований

3.1. Влияние среды на формирование наноструктурных частиц индия.

Удивительные физико-химические свойства наноструктур позволяют использовать их в количествах и концентрациях во много раз уменьшенных в сравнении с массивными материалами. Особенно это важно при использовании редких, рассеянных и дефицитных металлов, к которым относится индий.

Сферические наночастицы индия диаметром 20 нм формируются при восстановлении InCl_3 метанольным раствором боргидрида натрия в ионной жидкости при 70°C . На УФ-спектре (рисунок 3.1.1) обнаружена характерная полоса 238 нм наночастиц индия. По результатам рентгенофазового анализа получены наночастицы индия тетрагональной сингонии с параметрами решетки: $a = 0,3250$ нм и $c = 0,4944$ нм, что совпадает с аналогичными данными для массивного тетрагонального индия ($a = 0,3251$ нм и $c = 0,4954$ нм). На дифрактограмме обнаружены рефлексы оксида индия (222, 431, 622), вероятно из-за окисления поверхности наночастиц индия кислородом, содержащимся в ионной жидкости и метаноле, далее кислородом воздуха при хранении.

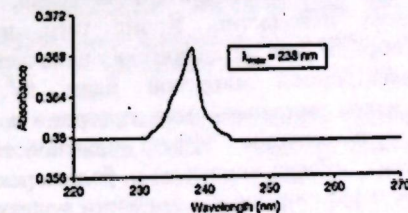


Рисунок 3.1.1 - УФ-спектр наночастиц индия из ионной жидкости.

РФА Phillips X'Pert PRO) показал, что из расплава индия в парафиновом масле под воздействием УФ-излучения формируются наночастицы металлического индия с кристаллической решеткой тетрагональной сингонии с параметрами: $a=0,3251$ нм и $c=0,4945$ нм, что совпадает с таковыми для массивного образца. На дифрактограмме обнаружены несколько пиков оксида индия (с hkl: 222, 431, 622), что связано с окислением поверхности наночастиц индия, при сушке на воздухе.

Данные, полученные при помощи просвечивающего электронного микроскопа марки JEOL JEM-100СХ (ПЭМ), показывают (рисунок 3.1.2) образование сферических наночастиц индия с диаметрами - 50-70 нм (а-мощность УЗИ 1200 Вт/см²), 300-500 нм (б - мощность УЗИ 800 Вт/см²), т.е. чем выше мощность УЗ, тем мельче наночастицы индия.

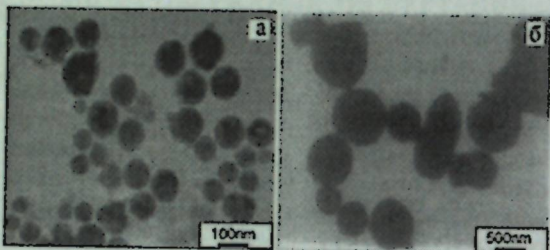


Рисунок 3.1.2 - ПЭМ снимок наночастиц индия, полученных ультразвуковым облучением массивного индия: а) при мощности облучения 1200 Вт/см²; б) 800 Вт/см².

3.1.1. Наноструктурирование индия в гексане. С целью получения чистых металлических наночастиц индия без следов кислорода проведено диспергирование индия в гексане C₆H₁₄ при комнатной температуре. Энергия единичного импульса - 0,025 Дж. Объем газового пузыря, формирующегося при воздействии единичного импульса - 10⁻³ см³, площадь поверхности пузыря - 36·10⁻⁴ см², мощность воздействия единичного импульса - 6,666 кВт/см², т.е. в 5,5 раз выше мощности УЗ в исследовании.

Высокие температуры в зоне воздействия единичного импульса разрушают не только материал электродов, но и гексан с образованием C, H₂, CH₄ и др., т.е. формируется восстановительная среда, способствующая образованию металлических наночастиц. Кроме того, что формируется восстановительная среда, образование металлических наночастиц индия можно объяснить эффектом электронной инертной пары 5s², при котором стабилизируется одновалентное состояние индия, которое в восстановительной среде легко переходит в нульвалентное. Эффект инертной пары объясняется релятивистскими эффектами, обнаруженными в более тяжелых элементах групп 13, 14, 15 и 16. Явление пониженной склонности s-электронов к участию в образовании химических связей часто называют *эффектом инертной пары*.

Результаты рентгенофазового анализа (Rigaku RINT-2500 с CuKα-излучением $\lambda=1,54187\text{\AA}$) продукта диспергирования индия в гексане (рисунок 3.1.1.3), позволили выявить линии металлического индия с тетрагональной структурой (пространственная группа 14/mmm (139), как и у исследователей и параметрами кристаллической решетки: $a=0,3258$ нм, $c=0,4953$ нм, совпадающими с данными картотеки JCPDF, файл № 85-1409. Линий оксида индия, как и ожидалось, не обнаружено.

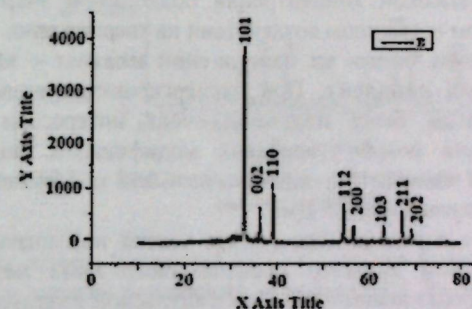


Рисунок 3.1.1.3 - РФА наноструктуры индия из гексана при энергии единичного импульса 0,025 Дж (мощность воздействия единичного импульса - 6,666 кВт/см²).

На СЭМ-снимке (рисунок 3.1.1.4), видны конгломераты частиц металлического индия с размерами от 9-20 нм до 40 нм.

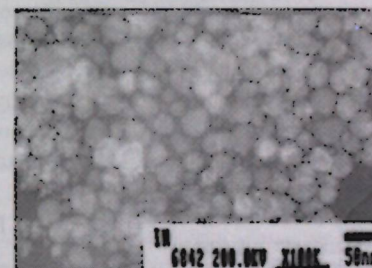


Рисунок 3.1.1.4 - СЭМ снимок продукта диспергирования индия в гексане при энергии единичного импульса 0,025 Дж.

В отличие от синтеза наночастиц индия ультразвуковым способом, при котором образуется и оксид индия, а диаметр наночастиц превышает 50 нм, использование импульсной плазмы, создаваемой в гексане, позволяет получить более мелкие, даже при конгломерации, частиц чистого металлического индия.

Формирование более мелких наночастиц в ИПЖ в сравнении с ультразвуковым наноструктурированием связано, по нашему мнению, с более концентрированным и мощным воздействием энергии импульсной плазмы на массивный индий.

Наш способ прямого наноструктурирования индия доступен для любой лаборатории, сотрудники которой намерены синтезировать наночастицы индия. Кроме всего прочего нет необходимости в противозрывных устройствах и холодильниках. Все положительные моменты синтеза наноструктур в ИПЖ возникают благодаря высокой концентрации подводимой энергии в малом объеме и очень коротком временном воздействии на твердое тело.

3.1.2. Наночастицы индия из импульсной плазмы – катализаторы получения графеновых нанолент. При диспергировании индия при более высокой мощности ИПЖ были получены очень интересные результаты, касающиеся образования новой углеродной модификации, полученной на поверхности индиевых наночастиц, которая не была обнаружена нами при энергии единичного импульса – 0,025 Дж.

Высокая скорость зародышеобразования частиц при низких темпах ее роста – это естественный характер предложенного нами метода синтеза наночастиц индия с использованием энергии импульсной плазмы, создаваемой в жидких средах в короткий промежуток времени в минимальном объеме.

Предлагаемый нами способ наноструктурирования не требует вакуумного оборудования, высоких энергетических и материальных затрат, холодильников и, что очень важно, пригоден для диспергирования любого токопроводящего материала, даже самого тугоплавкого.

После ряда экспериментов выбран режим единичного импульса 0,05 Дж, достигаемый использованием конденсаторов емкостью в 4 мкф.

Для получения наночастиц индия единичный импульс мощностью 0,05 Дж ($13,332 \text{ кВт/см}^2$), длительностью 10^{-3} с создавался между двумя индиевыми электродами чистотой 99,9999 %, погруженными в гексан. Повышение мощности единичного импульса в сравнении с предыдущим экспериментом (0,025 Дж) было сделано с целью увеличения выхода продукта диспергирования индия. Выход увеличивается в 2 раза. За 6 часов непрерывного диспергирования выход дисперсий составил – 1,2г по металлическому индию.

Морфология и размер частиц продукта наноструктурирования индия в гексане изучены на просвечивающем электронном микроскопе JEOLJEM-1400.

Рентгенофазовый анализ (рисунок 3.1.2.5) показал формирование частиц индия с гранцентрированной тетрагональной элементарной ячейкой, как и в предыдущем эксперименте при 0,025 Дж. Но наблюдается уменьшение параметров a и c ($a = 0,323 \text{ нм}$, $c = 0,489 \text{ нм}$, $z=2$, пространственная

группа $I-4/mmm$) в сравнении с предыдущим экспериментом, связанное с более высоким энергонасыщением продукта диспергирования индия и уплотнением кристаллической решетки частиц при энергии единичного импульса – 0,05 Дж.

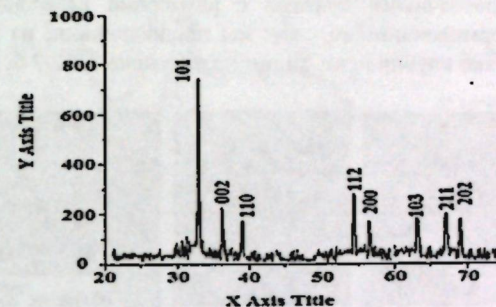


Рисунок 3.1.2.5 – РФА дисперсии индия из гексана при энергии единичного импульса 0,05 Дж.

На ПЭМ-снимке (рисунок 3.1.2.6) видно, что наноструктурирование индия в гексане при энергии единичного импульса 0,05 Дж образуются наночастицы индия с размерами 10-22 нм. Не обнаруживаются наночастицы с размерами выше 22 нм, т.е. при большей мощности единичного импульса формируются более мелкие наночастицы индия.

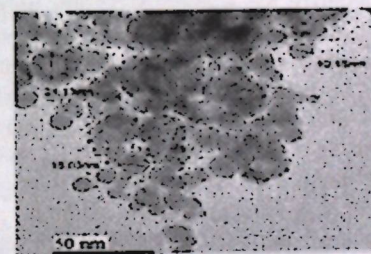


Рисунок 3.1.2.6 - ПЭМ-снимок дисперсии индия из гексана при энергии единичного импульса 0,05 Дж.

Был получен ПЭМ-снимок наночастицы индия с четкой кристаллической решеткой (рисунок 3.1.2.7 а). Был измерен параметр $c=0,481 \text{ нм}$ (рисунок 3.1.2.7 а), который гораздо меньше, чем параметр c у наночастиц индия, полученных при энергии единичного импульса – 0,025 Дж.

Уменьшение параметров a и c кристаллической решетки индиевых наночастиц, полученных при энергии единичного импульса 0,05 Дж, можно

также объяснить их более мелкими размерами, т.е. более высоким поверхностным натяжением.

При внимательном анализе ПЭМ-снимков наночастиц индия видно, что они покрыты прозрачными лентами с размерами нанодиапазона (рисунок 3.1.2.7 б, в), сформированными, как мы предположили, из атомов углерода гексана. Более четко клубки лент видны на рисунке 3.1.2.7 б, в.



Рисунок 3.1.2.7 - ПЭМ-снимок элементарной ячейки наночастицы индия из гексана при энергии единичного импульса 0,05 Дж (а). ПЭМ-снимки клубков мембран в виде нанолент (б, в).

Для того, чтобы подтвердить формирование нанолент нанодисперсия индия была исследована посредством Раман-спектроскопии (метод спектроскопии комбинационного рассеяния света КРС или Раман-спектроскопия). Результаты Раман-спектроскопии были сравнены с данными автора. При анализе данных КР – спектроскопии автор упомянутого выше исследования показал, что в спектрах графита, графена и оксида графена присутствуют: G – пик (колебания системы sp^2 углеродных связей графита, $\sim 1580 \text{ см}^{-1}$) и 2D – линия (дефектная зона, $\sim 2700 \text{ см}^{-1}$), являющаяся обертоном D – линии ($\sim 1330 \text{ см}^{-1}$). Появление D – линии для образцов оксида графена и графена свидетельствует об образовании дефектной структуры (наноструктуры) по отношению к графиту, а появление «округлого» пика (2700 см^{-1}) – об уменьшении числа слоев в структуре графена.

На Раман-спектре наночастиц индия из ИПЖ в гексана также выявлены два интенсивных пика (рисунок 3.1.2.8, а, 1). Один из которых, так называемая G-линия обусловлена флуктуацией sp^2 -связей углерода ($\sim 1588,5 \text{ см}^{-1}$, зона графита), наличие D-линии ($\sim 1348,9 \text{ см}^{-1}$) указывает на формирование дефектной структуры графита с размерным эффектом, характерным для наноструктуры углерода. Формирование наноструктуры, отличной от графита, четко наблюдается на ПЭМ-снимке наночастиц индия (рисунок 3.1.2.8 б, в). Видно, что наночастицы индия обернуты прозрачными лентами нанодиапазона. Отсутствие 2D обертона D-линии на Раман-спектре свежего образца индия из импульсной плазмы говорит о том, что на поверхностях наночастиц индия сформирована многослойная пленка из графеновых нанолент.

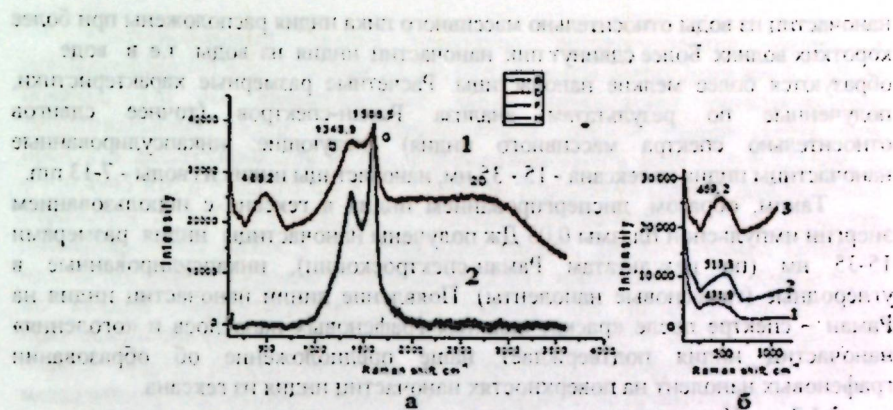


Рисунок 3.1.2.8 – Раман-спектры индия из гексана:

- а) Раман-спектры свежеполученной дисперсии индия (1), после хранения в течение 2х недель (2);
 б) Раман-спектры индия : наночастиц индия из воды (1), массивного индия(2), наночастиц индия из гексана (3).

После хранения в течение 2х недель дифрактограмма продукта не претерпела изменений, т.е. кристаллическая структура наночастиц осталась неизменной. Чего нельзя было сказать о виде Раман-спектра продукта диспергирования индия в гексана на рисунке 3.1.2.8 а (2). При внимательном анализе данного спектра мы установили, что интенсивность D-линии снижается и появляется два округлых пика- $469,2 \text{ см}^{-1}$ и $2250-3450 \text{ см}^{-1}$. Понижение интенсивности D-пика мы объясняем уменьшением количества графеновых слоев на поверхностях наночастиц индия, что, в свою очередь, связано с появлением плоских углеродных наноструктур, в нашем случае развернутых графеновых нанолент. Согласно данным литературы, в дополнение к полосам первого порядка, в спектрах комбинационного рассеяния наблюдается некоторая комбинация полос, расположенных при $2693, 2935$ и 3145 см^{-1} (2D-область). Появление пика $469,2 \text{ см}^{-1}$ мы связали с наночастицами индия, которые, вероятно, оголились благодаря «разматыванию» графеновых нанолент с образованием плоских наноструктур. Для выяснения природы пика при $469,2 \text{ см}^{-1}$ мы сняли Раман-спектры для массивного индия и наночастиц индия без углеродной оболочки, синтезированных в деионизированной воде. Видно, что пик массивного индия ($513,3 \text{ см}^{-1}$, рисунок 3.1.2.8,2), наночастиц индия из воды ($431,9 \text{ см}^{-1}$, рисунок 3.1.2.8,1) и наночастиц индия из гексана ($469,2 \text{ см}^{-1}$, рисунок 3.1.2.8,3), расположены в одной коротковолновой области. Можно заметить, что сдвиговые линии инкапсулированных наночастиц индия и

наночастиц из воды относительно массивного пика индия расположены при более коротких волнах. Более сдвинут пик наночастиц индия из воды, т.е. в воде образуются более мелкие наночастицы. Расчетные размерные характеристики, полученные по результатам анализа Раман-спектров (точнее сдвигов относительно спектра массивного индия) следующие: инкапсулированные наночастицы индия из гексана - 15 - 35 нм, наночастицы индия из воды - 7-13 нм.

Таким образом, диспергированием индия в гексане с использованием энергии импульсной плазмы 0,05 Дж получены наночастицы индия размерами 15-35 нм (по результатам Раман-спектроскопии), инкапсулированные в углеродные (графеновые наноленты). Появление линии наночастиц индия на Раман - спектре после «раскручивания» графеновых нанослоев и «оголения» наночастиц индия подтверждает наше предположение об образовании графеновых нанолент на поверхностях наночастиц индия из гексана.

3.1.3. Наночастицы индия из одноатомных спиртов и деионизированной воды. Была поставлена задача синтезировать оксид индия In_2O_3 в кислородсодержащих жидких средах, т.к. оксид индия (In_2O_3) — является широкозонным полупроводником n-типа с энергией запрещенной зоны около 2,9эВ, характерной особенностью которого является высокая концентрация свободных электронов в сочетании с прозрачностью в видимом диапазоне электромагнитного излучения.

Наноструктурирование массивного индия было проведено при энергии единичного импульса 0,05 Дж. В качестве жидкой среды были выбраны этиловый, изопропиловый спирты, деионизированная вода.

С использованием исходных данных рентгенофазового анализа продукта диспергирования индия в этаноле были построены дифрактограммы (РФА) образцов (рисунок 3.1.3.9).

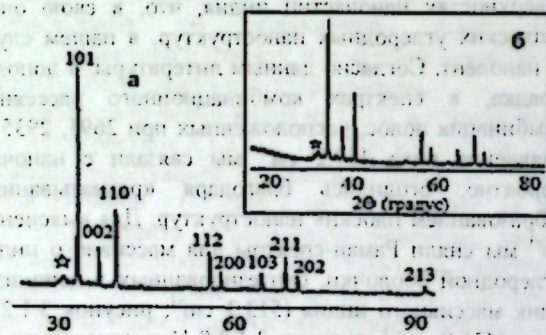


Рисунок 3.1.3.9 - РФА продукта диспергирования индия в этиловом спирте (а) и деионизированной воде (б).

Рентгенофазовый анализ продуктов диспергирования индия в деионизированной воде (рисунок 3.1.3.9, б) и этиловом спирте (рисунок 3.1.3.9, а) показал, что все дифракционные линии принадлежат металлическому тетрагональному индию с пространственной группой 14/mmm (139). Для продукта диспергирования индия в деионизированной воде $a = 0,3251$ нм, и $c = 0,4945$ нм; $a = 0,3256$ нм и $c = 0,4951$ нм в этиловом спирте. Аналогичные параметры $a = 0,3267$ нм и $c = 0,4961$ нм получены и для продукта диспергирования индия в изопропиловом спирте, дифрактограмма которого идентична дифрактограмме дисперсии индия из этилового спирта. Кроме того, на каждой дифрактограмме виден слабый пик (отмечен звездочкой), принадлежащий оксиду индия кубической сингонии ($2\theta = 30,68^\circ$). Содержание оксида индия, рассчитанное по интенсивностям дифракционных линий металлического и оксидного индия, во всех образцах не превышает 3 %.

После формирования наночастиц индия, очевидно, на их поверхностях образуется оксидная пленка благодаря присутствию кислорода в дисперсионных средах (этиловый, изопропиловый спирты, вода). Образование защитной оксидной пленки способствует стабилизации наночастиц индия, благодаря чему не происходит дальнейшего их окисления, что было подтверждено рентгенофазовым анализом наночастиц из этилового спирта после хранения в течение двух недель.

Для обнаружения наночастиц индия был проведен анализ образцов на просвечивающем электронном микроскопе высокого разрешения (ПЭМ) JEOL-200FX.

Результаты ПЭМ продуктов диспергирования индия в этиловом и изопропиловом спиртах (рисунок 3.1.3.10.) позволили установить формирование сферических наночастиц индия. При анализе снимков видно, что в изопропиловом спирте (рисунок 3.1.3.10 в, г) сформировались более мелкие наночастицы индия с размерами 0,5 -10 нм, а в этиловом спирте (рисунок 3.1.3.10 а, б) – более крупные с размерами от 1,5 нм до 10 нм.

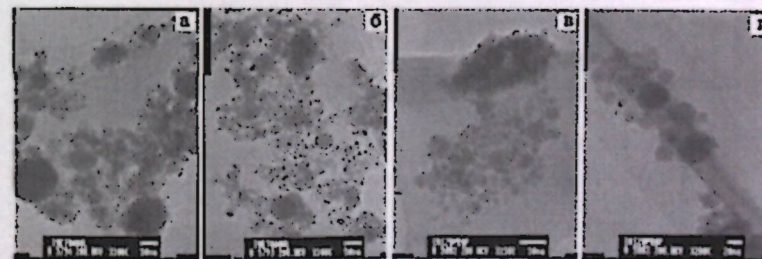


Рисунок 3.1.3.10- ПЭМ снимки наночастиц индия (а, б) – в этиловом спирте; (в, г) – изопропиловом спирте.

Таким образом, диспергирование индия при энергии единичного импульса 0,05 Дж в одноатомных спиртах (этиловом, изопропиловом), сопровождается формированием сферических наночастиц металлического индия со средними размерами 5 нм тетрагональной модификации, т.е. более мелких, чем у авторов и соразмерных с наночастицами авторов.

Благодаря высокоскоростной высокотемпературной закалке и оксидной протекторной пленке наночастицы индия из ИПЖ далее не окисляются при хранении на воздухе. Получить In_2O_3 даже в кислородсодержащих средах не удастся из-за стремления индия к формированию металлических наночастиц благодаря инертной паре электронов во внешней электронной оболочке.

3.1.4. Наноструктурирование алюминия в импульсной плазме. При диспергировании алюминия в импульсной плазме в одноатомных спиртах (этиловом и изопропиловом) обнаружены линии двух фаз: металлический алюминий, кристаллизующийся в кубической сингонии и частицы оксида алюминия в тетрагональной сингонии (рисунок 3.1.4.11, 3.1.4.13). СЭМ анализ (рисунки 3.1.4.12, 3.1.4.14, справа) позволил установить, что при диспергировании алюминия в обеих средах образуются сферические наночастицы металлического алюминия и оксидов алюминия. Размер частиц в обеих средах от 4 нм до 10 нм. По результатам энергодисперсионного анализа (см. рисунки 3.1.4.12, 3.1.4.14, слева) доказано, что в условиях ИПЖ в одноатомных спиртах образуется преимущественно металлический алюминий. Он составляет 62,06 % (в этиловом), 63,06 % (в изопропиловом спирте). Процентное содержание оксида алюминия в продукте из этилового спирта 37,94%, из изопропилового спирта – 36,94%.

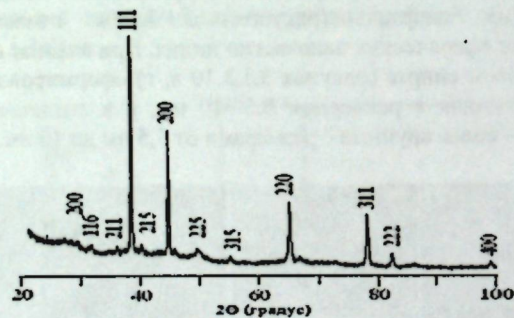


Рисунок 3.1.4.11 - РФА дисперсии алюминия из этилового спирта.

По результатам анализа дифрактограммы дисперсии алюминия из этилового спирта (рисунок 3.1.4.11): параметры кристаллической решетки: Al (кубическая) $a = 4,0528$; Al_2O_3 (тетрагональная) $a = 5,627\text{Å}$, $c = 23,852\text{Å}$

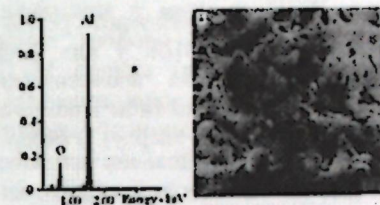


Рисунок 3.1.4.12 - Энергодисперсионный анализ (а) и СЭМ снимок (б) наночастицы алюминия полученного в этиловом спирте.

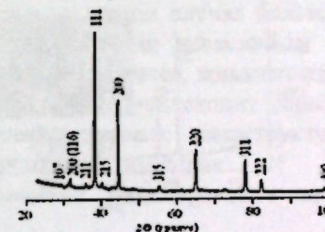


Рисунок 3.1.4.13 - РФА дисперсии алюминия из изопропилового спирта.



Рисунок 3.1.4.14 - Энергодисперсионный анализ (а) и СЭМ - снимок (б) наночастиц алюминия полученного в изопропиловом спирте.

Можно предположить, что распад ароматических углеводородов в импульсной плазме сопровождается накоплением ароматических ядер и на активной поверхности металлических наночастиц оседает графен из ароматических фрагментов и графеновых кластеров.

Вероятно, возможен рост лент нанодиапазона из ароматических фрагментов и на поверхности наночастиц алюминия.

Наноструктурирование алюминия в ИПЖ в толуоле сопровождается образованием наночастиц алюминия с гранцентрированной кубической решеткой (дифрактограмма на рисунке 3.1.4.15, внизу), параметр кристаллической решетки: Al (кубическая) $a = 0,4057\text{ нм}$, которая устойчива при температуре от 4°К до температуры плавления. Алюминий не претерпевает аллотропических превращений, т. е. его строение постоянно. Самая интенсивная линия на дифрактограмме дисперсии алюминия из толуола с

индексами Миллера (111). Как показывают результаты рентгенфазового анализа наночастиц алюминия из ИПЖ у них имеются грани (111), т.е. возможно формирование графена из ароматических молекул толуола. Действительно, на ПЭМ снимке наночастицы алюминия «окутаны» клубками монослоев графена (рисунок 3.1.4.15, вверху). Размер наночастиц алюминия 5-50 нм.

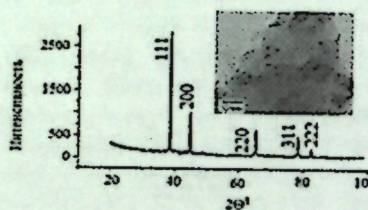


Рисунок 3.1.4.15 - РФА наночастиц алюминия из толуола.

Далее нами показана возможность формирования графеновых нанолент на поверхностях наночастиц меди, с индексами Миллера кристаллической решетки (111).

РФА (рисунок 3.1.4.16) наночастиц меди из гексана позволил установить образование металлических наночастиц с гранецентрированной кубической структурой (ГЦК) структурой (ПГ $O_h^5-Fm\bar{3}m$). Самая интенсивная линия соответствует индексу (111). Набор линий отражения наночастиц меди из гексана соответствует ГЦК-решетке. На снимке, полученном на просвечивающем электронном микроскопе (рисунок 3.1.4.17) видны слои графена на поверхности наночастиц меди из стирола. Средний размер из кривой радиального распределения наночастиц меди – 3.0 нм.

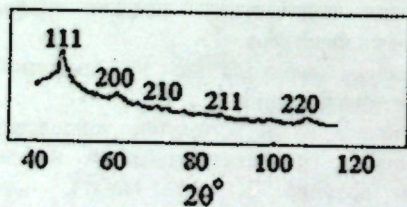


Рисунок 3.1.4.16 - РФА наночастиц меди из гексана.

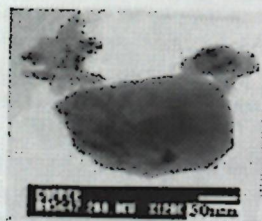


Рисунок 3.1.4.17 - ПЭМ наночастиц меди из гексана в монослоях графена.

У наночастиц алюминия и меди из ИПЖ имеются грани (111), т.е. возможно формирование графена из ароматических молекул толуола. Действительно, на ПЭМ снимке (рисунок 3.1.4.15, вверху) наночастицы алюминия «окутаны» клубками монослоев графена.

На дифрактограмме наночастиц индия с гранецентрированной тетрагональной элементарной ячейкой (рисунок 3.1.2.5) не обнаружено линии отражений 111, хотя на поверхности наночастиц индия образуются скопления графеновых нанолент (рисунок 3.1.2.7), т.е. предположения в работе о предпочтительном образовании графена на грани (111) опровергается нашими исследованиями. Возможно, в нашем случае большую роль играют условия протекания ИПЖ: высокий перепад давлений и температур во времени, кратковременность протекания процесса, концентрация энергии в очень малом объеме. Благодаря таким условиям происходит формирование и стабилизация метастабильных энергонасыщенных наноструктур индия - графеновых нанолент на поверхностях наночастиц индия.

3.1.5. Термодинамическое моделирование процесса диспергирования индия в гексане:

$(C_6H_{14} - 1) + (In - 1)$. Состав, моль/кг: C-34,812; H- 81,229; In-4,355;

С учетом элементного состава системы индий-гексан было проведено физико-химическое моделирование процесса диспергирования металлического индия в гексане с использованием энергии импульсной плазмы с целью прогнозирования фазового состава образующейся металлической плазмы. При этом расчетные данные эксперимента изменялись в пределах от 298 до 9993 К, давление 2×10^7 Па, время процесса 10^{-5} - 10^{-8} сек.

На основании расчетных данных построены графические зависимости содержания основных компонентов в парогазовой плазме (моль/кг) от ее температуры (рисунок 3.1.5.18).

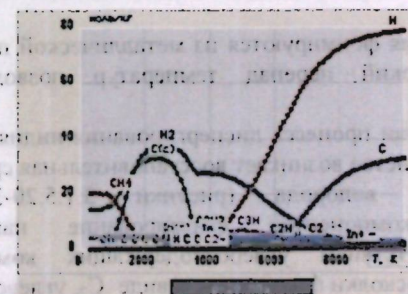


Рисунок 3.1.5.18 - Зависимости концентрации основных компонентов и частиц от температуры околосредового пространства (система $C_6H_{14}-In$), моль/кг: C -34,812; H- 81,229; In-4,355)

Далее показаны зависимости концентрации отдельных компонентов индий содержащих, водородсодержащих, углеродистых, углеводородных осколков.

Из зависимости 19 видно, что в околоскоровом пространстве при диспергировании индия в гексане формируются, в основном, компоненты металлического индия. В начале процесса протекания единичного импульса в интервале температур 0-3000К в парогазовой смеси содержится конденсированный индий, вероятно, в виде расплава и пара. При температуре 2000 К. протекает образование металлической плазмы, состоящей из атомов индия, гидрида индия и положительно заряженных In^+ .

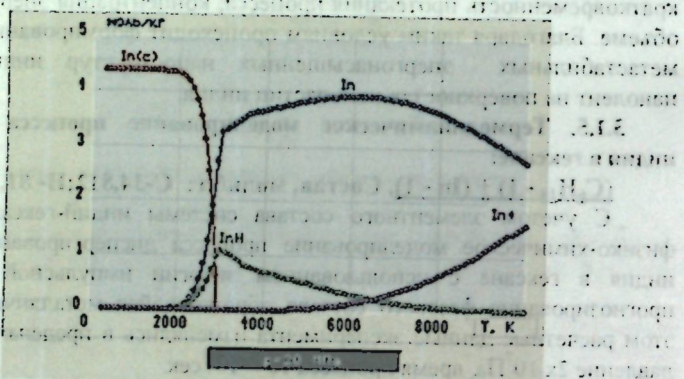


Рисунок 3.1.5.19 - Зависимости концентрации индий содержащих компонентов и частиц от температуры околоскорового пространства (система $C_6H_{14}-In$), моль/кг (система: $C_6H_{14}-In$), моль/кг: С -34,812; Н -81,229; In-4,355)

Наночастицы индия формируются из металлической плазмы при резком ее охлаждении. Высокий перепад температур позволяет сохраниться наночастицам индия.

На всем протяжении процесса диспергирования индия от 0 до 10000К в околоскоровом пространстве возникает восстановительная среда, состоящая из молекул и атомов водорода (рисунки 3.1.5.20-3.1.5.22). Кроме водородсодержащих компонентов формирование наночастиц индия поддерживается присутствием углеродсодержащих компонентов, среди которых присутствуют осколки фуллеренов в виде C_2 , углеводородные остатки (рисунок 3.1.5.22). Образование графеновых нанолент, происходит благодаря, именно, присутствию фуллереновых остатков, ароматических фрагментов.

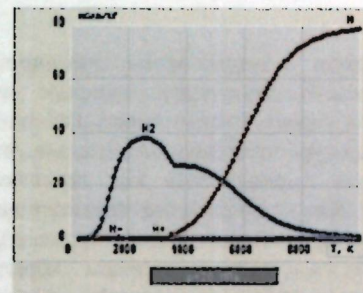


Рисунок 3.1.5.20 - Зависимости концентрации водород содержащих компонентов и частиц от температуры околоскорового пространства (система $C_6H_{14}-In$), моль/кг: С -34,812; Н -81,229; In-4,355)

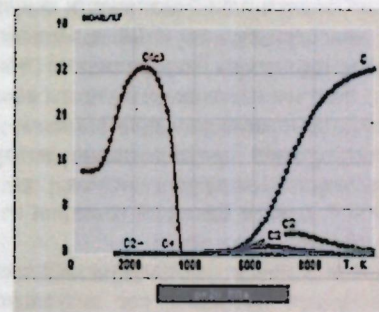


Рисунок 3.1.5.21 - Зависимости концентрации углеродистых компонентов и частиц от температуры околоскорового пространства (система $C_6H_{14}-In$), моль/кг: С -34,812; Н -81,229; In-4,355)

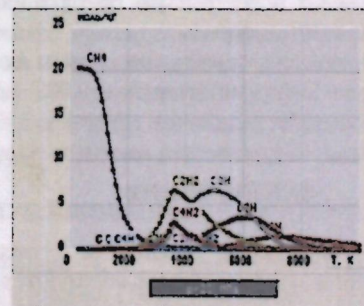


Рисунок 3.1.5.22-Зависимости концентрации углеводородных осколков от температуры околоскорового пространства (система $C_6H_{14}-In$), моль/кг: С -34,812; Н -81,229; In-4,355).

3.1.6. Бактерицидная активность наночастиц индия. Под биологической активностью наночастиц ученые в первую очередь подразумевают антибактериальное, противовирусное действие.

Имеющиеся в литературе сведения показывают, что соединения индия представляют интерес для фармакологов как перспективные объекты для дальнейших исследований. В медицинской практике официально не используются лекарственные препараты, содержащие индий (кроме радиофармацевтических средств). Это объясняется прежде всего отсутствием хорошо разработанных и доступных методов получения соединений индия, пригодных для фармацевтических целей, методики анализа и стандартизации.

Вероятно, бактерицидные и гипотензивные свойства наночастиц индия еще более интересны, как основа для медицинских препаратов, благодаря размерному эффекту наноструктур. До настоящего времени нам не удалось найти исследования, посвященные бактерицидной активности наночастиц индия.

Для использования наноструктур из ИПЖ в медицине, фармации было необходимо в первую очередь изучить их бактерицидные свойства.

Наночастицы индия, полученные в воде были переведены в нанораствор. Бактерицидная активность нанораствора индия была изучена серийным разведением в жидкой питательной среде согласно методическим указаниям «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам» МУК 4.2.1890-04. Взвесей бактерий готовили из суточной культуры, выращенной при 37°C на мясопептонном агаре.

Минимальной бактериостатической концентрацией исследуемого препарата считали разведение в последней пробирке, где визуально отсутствовал рост микроорганизма.

Минимальная ингибирующая концентрация сурьмы для *Diplococcus septicus* - 0,0014 масс. %, индия для бифидумбактерий - 0,002 масс. %.

Наночастицы серебра обладают мощнейшей бактерицидной активностью. Наночастицы индия показывают более слабую бактерицидную активность, но сравнимую с таковой для наночастиц сурьмы.

Минимальная ингибирующая концентрация сурьмы для *Diplococcus septicus* - 0,0014 масс. %, индия для бифидумбактерий - 0,002 масс. %, серебра для бифидумбактерий - 0,00001 масс. %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При наноструктурировании индия в гексане, этиловом и изопропиловом спирте, деионизированной воде образуются черные дисперсные порошки, далее изученные методами электронномикроскопического, рентгенофазового анализа, Раман-спектроскопии.

2. Во всех дисперсионных средах образуются металлические наночастицы индия тетрагональной симметрии. Оксид индия In_2O_3 формируется на поверхностях металлических наночастиц (дисперсионные среды: этиловый, изопропиловый спирты, деионизированная вода) в качестве протекторной пленки.

3. При диспергировании индия в гексане при энергии единичного импульса 0,025 Дж формируются металлические наночастицы, размерами 9-40 нм, кристаллизующиеся в тетрагональной сингонии (14/mmm (139), параметры кристаллической решетки: $a=0,326$ нм, $c=0,495$ нм. Повышение энергии единичного импульса до 0,05 Дж приводит к образованию металлических наночастиц с такой же симметрией, закутанных в графеновые наноленты. Графеновые наноленты обнаружены на поверхностях наночастиц алюминия, полученных в толуоле.

4. При изучении бактерицидной активности нанораствора индия по отношению к *Bifidumbacterium* установлена минимальная ингибирующая концентрация - 0,002 % по индию, проявляемая активность обусловлена энергонасыщенностью наночастиц индия.

5. Преимущественное образование металлических наночастиц индия в условиях ИПЖ обусловлено наличием в электронной оболочке этого металла инертной пары электронов, а также восстановительной атмосферой в реакционной зоне.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Наночастицы индия и алюминия рекомендуется использовать в полупроводниковой области, альтернативной энергетике, медицине. Технология наноструктурирования индия и алюминия в жидких углеводородах с ароматическими фрагментами является новейшей для синтеза графеновых нанолент - наноматериалов с новыми, неизвестными свойствами для использования в электронике, солнечных элементах, катализе. В перспективе предусматривается внедрение технологии получения наночастиц алюминия, окутанных графеновыми нанолентами, в качестве композита для создания электрических аккумуляторов. Внедрение технологии получения наночастиц индия в ИПЖ позволит существенную экономию данного редкого и очень рассеянного металла.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Кудайбергенова, Д. С. Синтез наночастиц индия с использованием энергии импульсной плазмы [Текст]/Д.С. Кудайбергенова // Вестник КГУСТА, 2013. - № 3. - С. 157-160. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23323421>

2. Кудайбергенова, Д. С. Влияние среды на формирование наноструктурных частиц индия [Текст] / Д. С. Кудайбергенова // Известия вузов, 2014. - №5. - С. 43-45. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25113128>

3. Кудайбергенова, Д. С. Наночастицы индия из импульсной плазмы в одноатомных спиртах [Текст] / Д. С. Кудайбергенова // Известия Национальной академии наук Казахской Республики. Серия химия и технология, 2014. - № 4. - С. 84-87. <http://chemistry-technology.kz/images/pdf/x2014/04.pdf>

4. Кудайбергенова, Д. С. Квазикристаллическая кластерная модель жидких металлов [Текст] / Д. С. Кудайбергенова, А. С. Абдыкеримова // Известия ВУЗов. - 2015. - № 36. - С. 251-254. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26092353>

5. Кудайбергенова, Д. С. Наноструктурирование редкого и рассеянного индия [Текст] / Д. С. Кудайбергенова // Молодой ученый. - 2016. - №19. - С. 36-40. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26740292>

6. Кудайбергенова, Д. С. Indium Nanoparticles by pulsed plasma [Текст] / Д. С. Кудайбергенова, С. К. Сулайманкулова // Молодой ученый. - 2016. - №10. - С. 378-382. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26163637>

7. Кудайбергенова, Д. С. Перспективы использования наноструктур из импульсной плазмы [Текст] / Д. С. Кудайбергенова, С. К. Сулайманкулова, Э. И. Сырымбекова, М. Сатиев, А. С. Маметова // Вестник ОшГУ. - 2017(6). - С. 44-49.

8. Кудайбергенова, Д. С. Графеновые наноленты на поверхностях наночастиц из импульсной плазмы, создаваемой в жидкостях (ИПЖ). [Электронный ресурс] / Д. С. Кудайбергенова // Научные исследования в Кыргызской Республике, № 2, 2020, Ч. II. - С. 54-59. Режим доступа: <http://journal.vak.kg/themencode-pdf-viewer-sc/?tnc pvfw=ZmlsZT1od>

9. Кудайбергенова, Д. С. Бактерицидная активность металлических наночастиц. [Текст] / Д. С. Кудайбергенова, Э. И. Сырымбекова, М. Сатиев и др. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2020. - № 4. - С. 121-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45543737>

10. Патент № 1622 Кыргызской Республики. Способ получения графеновых нанолент [Текст] / Д. С. Кудайбергенова, С. К. Сулайманкулова, Н. Д. Умралиева, А. А. Маткасымова // № 20130067: приоритет 29.07.2013: зарегистр. 30.04.2014: опубл. 30.05.2014, Бюл. № 5. - 8 с. <https://drive.google.com/file/d/1PWM9xi-BAeeZLxZiWwFiWAN4K6v9a2J/view>

Кудайбергенова Динара Сабыровнаынын “Индийдин жана алюминийдин наноструктураларын синтездоо, алардын физика-химиялык касиеттерин үйрөнүү” деген темада 05.16.08 – нанотехнология. Наноструктуралык материалдар адистиги боюнча химия илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги создор: индий, нанобөлүкчө, суюктукта импульстуу плазма, наноструктуралар, алюминий, графен нанопленкалары, термодинамикалык моделдөө, индий-гексан системасы.

Изилдөөнүн объектиси: суюктуктарда түзүлгөн импульстуу плазмадан индий менен алюминийдин наноструктуралары.

Изилдөөнүн предмети: индий менен алюминийдин нанобөлүкчөлөрү, графен нанопленкалары, индий нано-эритмесинин бактерициддик активдүүлүгү, индий-гексан системасынын термодинамикалык модели.

Изилдөөнүн максаты: суюктуктарда түзүлгөн импульстуу плазманы колдонуу менен индий менен алюминийдин наноструктураларын алуу, алынган наноструктуралардын курамын, морфологиясын жана кээ бир физикалык - химиялык касиеттерин изилдөө. Заманбап изилдөө ыкмаларын колдонуу менен индий жана алюминий наноструктураларын түзүү мүмкүнчүлүктөрүн негиздөө.

Изилдөөнүн ыкмалары жана жабдуулары: рентген фазасы, бөлүкчөлөрдүн өлчөмүн анализдөөчү, чагылдыруучу, скаперлоочу электрондук микроскопиясы (ПЭМ ВР, СЭМ), дифрактометрлер: ДРОН-3, ДРОН-6 жана Rigaku RINT-2500.

Алынган натыйжалардын илимий жаңылыгы. Графен нанопленкалары индий жана алюминий нанобөлүкчөсүнүн беттеринде алынган. Индий нанобөлүкчөлөрүнүн эритмесинин бактерициддик касиеттери биринчи жолу изилденди. Ар кандай мүнөздөгү суюк диэлектриктерде өндүрүлгөн импульстуу плазмада индий менен алюминийдин фазалык пайда болуу өзгөчөлүктөрү салыштырылат. Импульстуу плазма шартында индий-гексан системасын термодинамикалык моделдөө жүргүзүлдү.

Колдонуу боюнча сунуштар. Изилдөөлөрдүн жыйынтыктары Кыргызстандын экономикасын өнүктүрүү үчүн импульстуу плазмада индий менен алюминийдин, графен нанопленкаларынын наноструктураларын алуу технологияларына багытталган өнүктүрүү үчүн колдонулушу мүмкүн.

Колдонуу чөйрөсү. Индий жана алюминий нанобөлүкчөлөрү жарым өткөргүчтөрдө, альтернативдүү энергияда жана медицинада колдонуу үчүн сунушталат. Ароматтык фрагменттери бар суюк углеводороддордо индий менен алюминийдин наноструктуралоо технологиясы графен нанопленкалары - электроникада, күн батареяларында, катализде колдонуу үчүн жаңы, белгисиз касиеттери бар наноматериалдарды синтездөө үчүн эң акыркы болуп саналат.

РЕЗЮМЕ

диссертации Кудайбергеновой Динары Сабыровны на тему «Синтез наноструктур индия и алюминия, изучение их физико-химических свойств» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.16.08 - нанотехнологии. Наноструктурные материалы

Ключевые слова: индий, наночастица, импульсная плазма в жидкости, наноструктуры, алюминий, графеновые наноленты, термодинамическое моделирование, система индий-гексан.

Объект исследования: наноструктуры индия и алюминия из импульсной плазмы, создаваемой в жидкостях.

Предмет исследования: наночастицы, индия и алюминия, графеновые наноленты, бактерицидная активность нанораствора индия, термодинамическое моделирование системы индий-гексан.

Цель работы: получение наноструктур индия и алюминия с использованием импульсной плазмы, создаваемой в жидких средах, изучение состава, морфологии и некоторых физико-химических свойств полученных наноструктур. Обоснование возможностей формирования наноструктур индия и алюминия с использованием современных методов исследования.

Методы исследования и аппаратура: рентгенофазовый, гранулометрический анализы, просвечивающая, сканирующая электронные микроскопии (ПЭМ ВР, СЭМ), дифрактометры: ДРОН-3, ДРОН-6 и Rigaku RINT-2500.

Полученные результаты и их новизна. Получены графеновые наноленты на поверхностях наночастиц индия и алюминия. Впервые изучены бактерицидные свойства раствора наночастиц индия. Проведено сравнение особенностей фазообразования индия и алюминия в импульсной плазме, создаваемой в жидких диэлектриках различной природы. Проведено термодинамическое моделирование системы индий-гексан в условиях импульсной плазмы.

Рекомендации по использованию. Результаты исследований могут быть использованы для направленной разработки технологий получения наноструктур индия и алюминия, графеновых нанолент в импульсной плазме для развития экономики Кыргызстана.

Область применения. Наночастицы индия и алюминия рекомендуется использовать в полупроводниковой области, альтернативной энергетике, медицине, катализе.

SUMMARY

of the dissertation of Kudaibergenova Dinara Sabyrovna on the topic "Synthesis of indium nanoparticles and study of their physico-chemical properties" for the degree of Candidate of Chemical Sciences in specialty 05.16.08 - nanotechnology. Nanostructured materials.

Keywords: indium, nanoparticle, pulsed plasma in liquid, aluminum, graphene nanofilms, thermodynamic modeling, indium-hexane system.

Object of research: indium and aluminum nanostructures from pulsed plasma created in liquids.

Subject of research: nanoparticles, indium and aluminum, graphene nanofilms, bactericidal activity of indium nanosolution, thermodynamic modeling of the indium-hexane system.

The aim of the work is to obtain indium and aluminum nanostructures using pulsed plasma created in proton and aprotic liquid media, to study the composition, morphology and some physico-chemical properties of the obtained nanostructures. Substantiation of the possibilities of formation of indium and aluminum nanostructures using modern research methods.

Research methods and equipment: X-ray phase, granulometric analyses, transmission, scanning electron microscopy (TEM BP, SEM), diffractometers: DRONE-3, DRONE-6 and Rigaku RINT-2500.

Scientific novelty of the results obtained. Graphene nanofilms were obtained on the surfaces of indium and aluminum nanoparticles. The bactericidal properties of a solution of indium nanoparticles were studied for the first time. The features of phase formation of indium and aluminum in pulsed plasma created in liquid dielectrics of various nature are compared. Thermodynamic modeling of the indium-hexane system under pulsed plasma conditions is carried out.

Recommendations for use. The research results can be used for the targeted development of technologies for the production of indium and aluminum nanostructures, graphene nanoribbons in pulsed plasma for the development of the economy of Kyrgyzstan.

Scope of application. Indium and aluminum nanoparticles are recommended for use in the semiconductor field, alternative energy, and medicine. The technology of nanostructuring indium and aluminum in liquid hydrocarbons with aromatic fragments is the latest for the synthesis of graphene nanoribbons - nanomaterials with new, unknown properties for use in electronics, solar cells, catalysis.

Подписано к печати _____ 2022 г.
Заказ № 176. Тираж 50 экз. Бумага офсетная.
Формат бумаги 60 x 90/16. Объем 1,5 п. л.
Отпечатано в ОсОО «Соф Басмась»
720020, г. Бишкек, ул. Ахунбаева, 92

