**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

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,
заведующая лабораторией нанотехнологии

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

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

Ведущая организация: Институт неорганической химии имени А. В. Николаева СО РАН (Сибирского отделения РАН), лаборатория синтеза кластерных соединений и материалов. Российская Федерация, г. Новосибирск.

Защита диссертации состоится 28 июня в 13.00 на заседании диссертационного совета Д 02.21.629 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) химических наук при Институте химии и фитотехнологии НАН КР, Ошском государственном университете МО и Н КР по адресу: г. Бишкек, 720071, пр. Чуй, 265а, Национальная академия наук Кыргызской Республики, ссылка на онлайн трансляцию защиты диссертации: https://vc.vak.kg/b/d_0-quu-d2e-lwm

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке НАН КР г. Бишкек, 720071, Чуйский проспект, 265-а, гл.корпус, библиотеке Института химии и фитотехнологии НАН КР г. Бишкек, проспект Чуй, 267 и на сайте диссертационного совета Д 02.21.269 http://www.ihftnaskr.kg

Автореферат разослан «____» _____

Ученый секретарь,
диссертационного совета
к.х.н., с.н.с. 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 [T. H. Lim, B. Ingham, K. H. 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.

В данной работе представлены результаты актуальных исследований самоорганизации наноструктур индия и алюминия, формирующихся в результате коллективного взаимодействия с наноструктурируемым твердым телом импульсной плазмы, создаваемой в жидких средах (ИПЖ), и компонентов дисперсионной среды [С. К. Сулайманкулова, У. А. Асанов, 2002].

Исследования, проводимые в лаборатории нанотехнологии ИХХТ НАН КР показали, что наноструктурирование твердого тела с использованием энергии импульсной плазмы, создаваемой между двумя электродами, помещенными в жидкую среду – надежный и доступный способ получения наноматериалов на основе токопроводящих элементов Периодической системы.

Связь темы диссертации с научными программами, основными научно-исследовательскими работами.

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» (номер государственной регистрации 0003939). Раздел - «Создание новых материалов на основе высоких технологий». Подпроект «Наноматериалы из импульсной плазмы в жидкости».

Цель исследования. Получение наноструктур индия и алюминия с использованием импульсной плазмы, создаваемой в жидких средах (ИПЖ), изучение состава, морфологии и некоторых физико-химических свойств полученных наноструктур. Обоснование возможностей формирования наноструктур индия и алюминия в импульсной плазме с использованием современных методов исследования.

Задачи исследования:

1. Синтез наноструктур на основе индия и алюминия в неравновесных условиях импульсной плазмы, создаваемой в жидких средах.
2. Анализ фазового состава, морфологии и структуры продуктов диспергирования индия и алюминия в жидких углеводородах, деионизированной воде.
3. Изучение бактерицидной активности нанораствора индия.
4. Интерпретация полученных данных с использованием современных способов физико-химического анализа.

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 могут быть использованы для направленной разработки технологий получения наноструктур индия и алюминия, графеновых нанолент в импульсной плазме для развития нанотехнологий Кыргызстана.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Наноструктурирование индия и алюминия в гексане, этиловом и изопропиловом спирте, деионизированной воде с использованием энергии импульсной плазмы; фазовый состав полученных дисперсий;
2. Результаты физико-химического анализа полученных наноструктур в зависимости от коллективного взаимодействия импульсной плазмы, жидкой среды и наноструктурируемого материала;
3. Результаты самоорганизации наноструктур индия в гексане при энергии единичного импульса – 0,025 Дж;
4. Результаты наноструктурирования индия в гексане при энергии единичного импульса 0,05 Дж;
5. Особенности наноструктурирования индия в импульсной плазме, создаваемой в гексане;
6. Результаты наноструктурирования алюминия в этиловом и изопропиловом спиртах;
7. Формирование графеновых нанолент на поверхностях наночастиц алюминия, полученных в толуоле;
8. Результаты изучения бактерицидной активности нанораствора 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 (ПЭМ, СЭМ), Раман-спектроскопии, проведены анализ и обсуждение полученных результатов с современных позиций нанонауки.

Апробация результатов исследований. Материалы диссертации доложены на: научно-практической конференции молодых ученых Кыргызстана. "Старт в большую науку" (НАН КР 5 - 6 ноября 2013г Бишкек), международной научно-`практической конференции “Насирдин 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, Бишкек, 2014), международном семинаре Kyrgyz-Korean Workshop on Nanotechnology 12-17 July 2015, Bishkek. National academy of sciences of Kyrgys Republik Department of Materials Science and Engineering KAIST(Korea Advanced Institute of Science and Technology), международной научной конференции: Нанотехнологии, наноструктурные материалы: перспективы развития в Кыргызстане. Высшая Аттестационная Комиссия Кыргызской Республики, Бишкек, 2020.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По результатам диссертационной работы опубликовано 10 научных статей, из них 3-за рубежом, 5-единоличные. Получен 1 патент Кыргызской Республики.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, обсуждения результатов, выводов и списка использованной литературы, включающего 66 наименований. Работа изложена на 83страницах компьютерного набора, содержит 8 таблиц и 30 рисунка.

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.

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.

Мировое производство индия пока очень мало - всего несколько десятков тонн в год, в качестве побочного продукта переработки руд цинка, свинца, меди, олова. Но для миниатюризованных нанотехнологий такие объемы производства не являются проблемой, т.к. свойства индиевых наноструктур, усиливаются многократно в сравнении с массивным металлом и его соединениями. Кардинальное изменение свойств наноструктур в сравнении с массивными твердыми телами подразумевает и резкое снижение объемов потребления этого ценного металла.

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

При использовании в твердых газогенерирующих топливах (ТГТ), основной акцент сделан на нанопорошки алюминия. 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. Siripirom, 2008]. Слоя толщиной 10-13 нм достаточно для эффективного действия покрытия [H. G. Kim, J. I. Park, G. H. 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 ИПЖ, связан с наличием дополнительной или избыточной энергии. Причиной избыточной энергии может стать экстремально быстрое образование частиц при конденсации паров металла и связанное с ним появление несбалансированных, метастабильных и напряженных структур в кристаллической решетке.

Идея существования избыточной энергии (до 400 кал/г) в свежеприготовленных наночастицах алюминия была введена в обиход в работе [M. M. Mench, C. L. Yeh, K. K. Kuo, 1998] и подробно исследована в [А. Н. Жигач, Н. Г. Березкина, Н. И. Стоенко, И. О. Лейпунский, 2010]. По нашему мнению, существование избыточной энергии в наночастицах алюминия позволяет использование нанопорошков для получения ТГТ и более эффективного вытеснения водорода из воды.

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.

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 микроскопыJEOL-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.

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. Исследование структуры, фазового состава и морфологии полученных наноструктур.

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.

Результаты:

- синтеза сферических наночастиц индия;
- получения графеновых нанолент на поверхности наночастиц индия и алюминия;
- изучения бактерицидной активности раствора наночастиц индия;
- результаты квантовохимического моделирования системы индий-гексан.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние среды на формирование наноструктурных частиц индия. Удивительные физико-химические свойства наноструктур позволяют

использовать их в количествах и концентрациях во много крат уменьшенных в сравнении с массивными материалами. Особенно это важно при использовании редких, рассеянных и дефицитных металлов, к которым относится индий.

Крупные наночастицы индия, формируются при восстановлении $InCI_3$метанольным раствором боргидрида натрия в ионной жидкости при 70^0С. Авторы показали образование сферических наночастиц индия диаметром 20 нм (по данным электронномикроскопического анализа), на УФ-спектрах (рисунок 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. Содержание оксида индия в образцах, синтезированных авторами на порядок превышает содержание оксида индия в продуктах диспергирования индия в импульсной плазме.

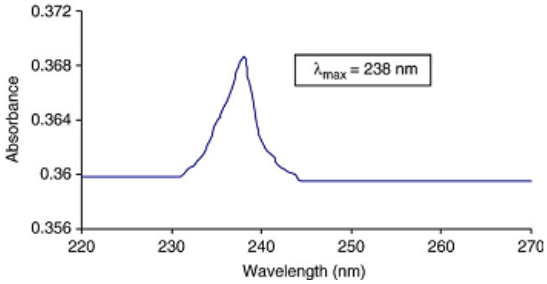

Рисунок 1 - УФ-спектр наночастиц индия из ионной жидкости

РФА анализ (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: а= 0,3251 нм и с=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.

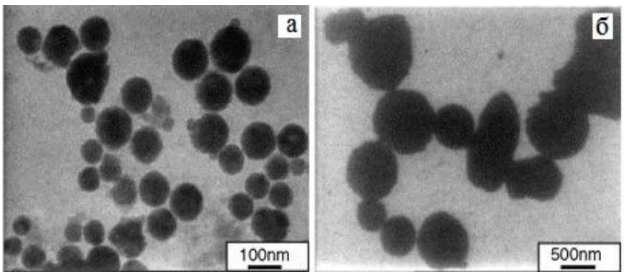

Рисунок 2 - ПЭМ снимок наночастиц индия, полученных ультразвуковым облучением массивного индия: а) при мощности облучения 1200 Вт/см^2; б) 800 Вт/см^2

Данные, полученные при помощи просвечивающего электронного микроскопа марки JEOL JEM-100CX (ПЭМ), показывают (рисунок 2) образование сферических наночастиц индия с диаметрами - 50-70 нм (а-мощность УЗИ 1200 вт/см^2), 300-500 нм (б - мощность УЗИ 800 вт/см^2), т.е. чем выше мощность УЗ, тем мельче наночастицы индия.

Наноструктурирование индия в гексане

С целью получения чистых металлических наночастиц индия без следов кислорода проведено диспергирование индия в гексане C_6H_{14} при комнатной температуре. Энергия единичного импульса - 0,025 Дж. Объем газового пузыря, формирующегося при воздействии единичного импульса -10^{-3} см^3, площадь поверхности пузыря - $36 \cdot 10^{-4}$ см^2, мощность воздействия единичного импульса – *6,666 кВт/см^2, 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 С, H_2,CH_4 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 $5s^2$, 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*.

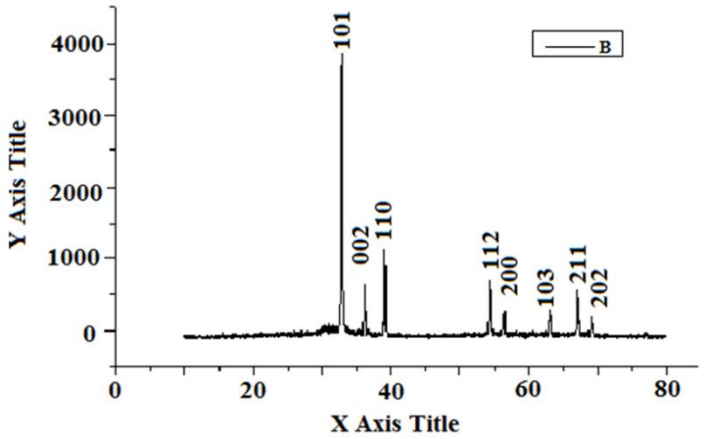

Рисунок 3 - РФА наноструктуры индия из гексана при энергии единичного импульса 0,025 Дж (мощность воздействия единичного импульса – 6,666 кВт/см^2)

Результаты рентгенофазового анализа (Rigaku RINT-2500 с CuKα-излучением λ=1,54187Å) продукта диспергирования индия в гексане (рисунок 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.

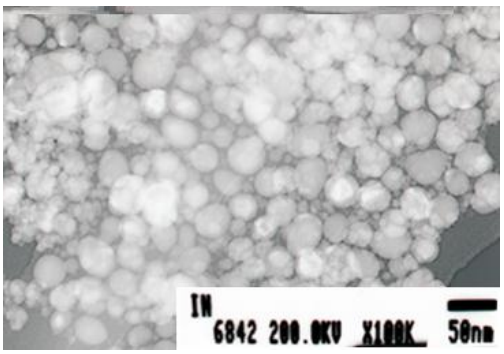

Рисунок 4 - СЭМ снимок продукта диспергирования индия в гексане при энергии единичного импульса 0,025 Дж

На СЭМ-снимке (рисунок 4), видны конгломераты частиц металлического индия с размерами от 9-20 нм до 40 нм.

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 противовзрывных 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.

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 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.

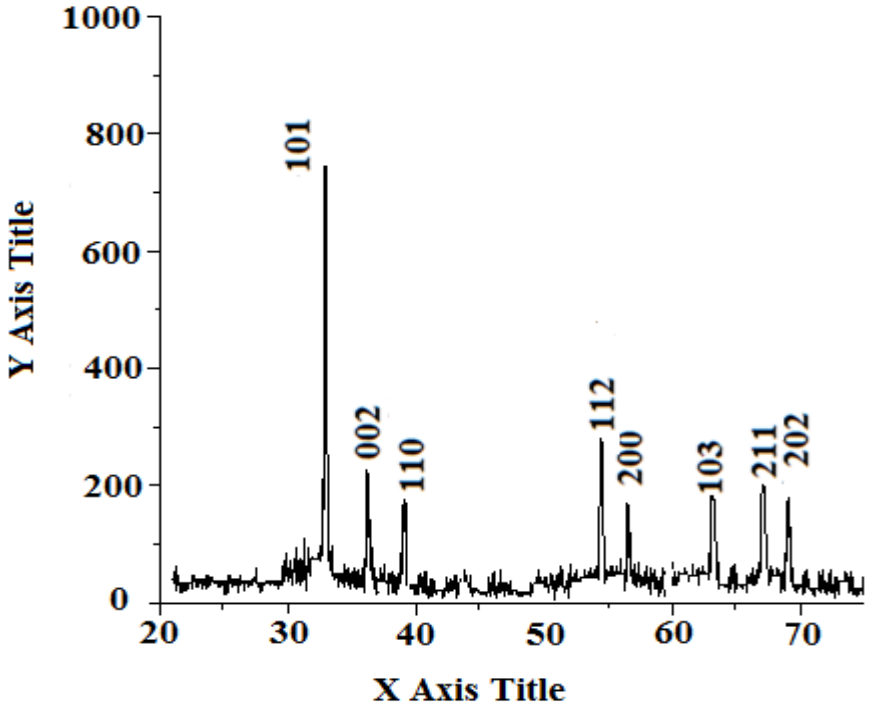

Рисунок 5 – РФА дисперсии индия из гексана при энергии единичного импульса 0,05 Дж

Рентгенофазовый анализ (рисунок 5) показал формирование частиц индия с гранецентрированной тетрагональной элементарной ячейкой, *как и в предыдущем эксперименте при 0,025 Дж.* Но наблюдается уменьшение

параметров *a* и *c* (*a* = 0,323 нм, *c* = 0,489 нм, *z*=2, пространственная группа*14/mmm)*в сравнении с предыдущим экспериментом, связанное с более высоким энергонасыщением продукта диспергирования индия и уплотнением кристаллической решетки частиц при энергии единичного импульса - 0,05Дж.

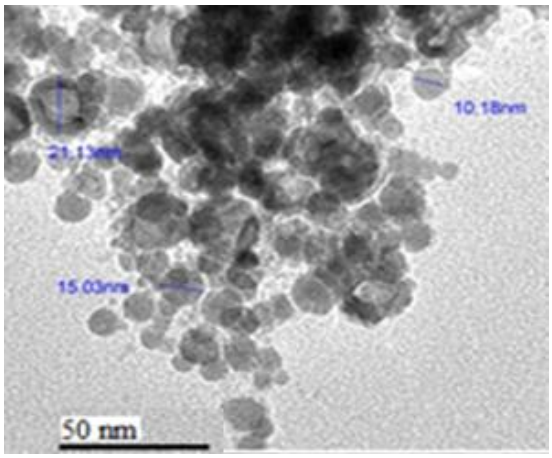

Рисунок 6 - ПЭМ-снимок дисперсии индия
из гексана при энергии единичного импульса 0,05Дж

На ПЭМ-снимке (рисунок 6) видно, что наноструктурирование индия в гексане при энергии единичного импульса 0,05 Дж образуются наночастицы индия с размерами 10-22нм. Не обнаруживаются наночастицы с размерами выше 22 нм, т.е. при большей мощности единичного импульса формируются более мелкие наночастицы индия.

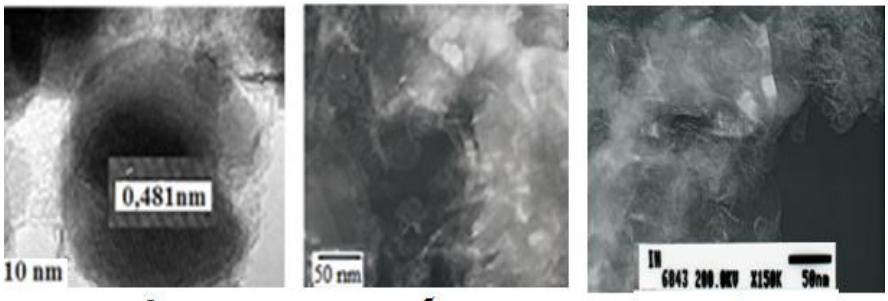

Рисунок 7 - ПЭМ-снимок элементарной ячейки наночастицы индия из гексана при энергии единичного импульса 0,05 Дж (а). ПЭМ-снимки клубков мембран в виде нанолент (б, в)

Был получен ПЭМ-снимок наночастицы индия с четкой кристаллической решеткой (рисунок 7 а). Был измерен параметр *c*=0,481 нм (см. рисунок 7 а) , который гораздо меньше, чем параметр *с 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.

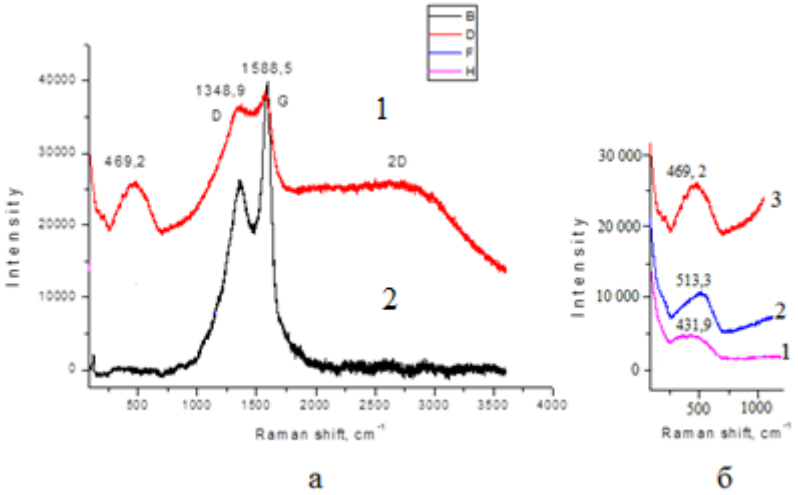

Рисунок 8 – Раман-спектры индия из гексана:
а) Раман-спектры свежеполученной дисперсии индия (1), после хранения в течение 2х недель (2);
б) Раман-спектры индия : наночастиц индия из воды (1), массивного индия(2), наночастиц индия из гексана (3).

При внимательном анализе ПЭМ-снимков наночастиц индия видно, что они покрыты прозрачными лентами с размерами нанодиапазона (рисунок 7 б, в), сформированными, как мы предположили, из атомов углерода гексана. Более четко клубки лент видны на рисунок 7 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, ~ 1580 $см^{-1}$) и 2D –линия (дефектная зона, ~ 2700 $см^{-1}$), являющаяся обертоном D - линии (~ 1330 $см^{-1}$). 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 гексане также выявлены два интенсивных пика (рис.8, а, 1). Один из которых, так называемая G-линия обусловлена флуктуацией sp^2-связей углерода (~ 1588,5 cm^{-1}, зона графита), наличие D-линии (~ 1348,9 cm^{-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 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.

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 гексане на рис.8, а (2). При внимательном анализе данного спектра мы установили, что интенсивность D-линии снижается и появляется два округлых пика- 469,2 $см^{-1}$ и 2250-3450 $см^{-1}$. 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 $см^{-1}$ мы связали с наночастицами индия, которые, вероятно, оголились благодаря «разматыванию» графеновых нанолент с образованием плоских наноструктур. Для выяснения природы пика при 469,2 $см^{-1}$ мы сняли Раман-спектры для массивного индия и наночастиц индия без углеродной оболочки, синтезированных в деионизированной воде. Видно, что пик массивного индия (513,3 cm^{-1}, рисунок 8,2), наночастиц индия из воды (431,9 $см^{-1}$, см. рисунок 8,1) и наночастиц индия из гексана (469,2 $см^{-1}$, см. рисунок 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 nm.

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.

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.

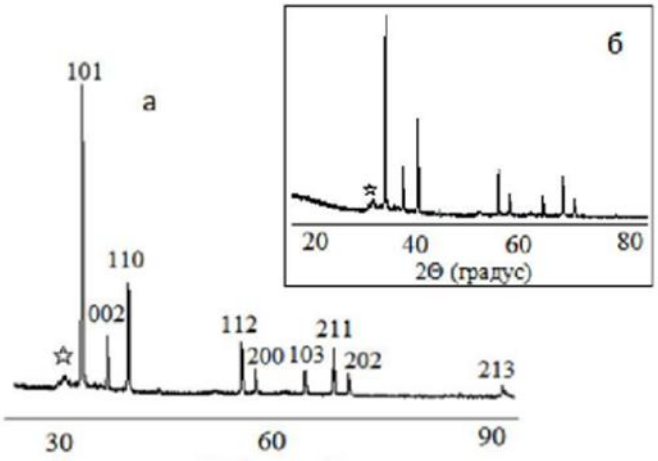

Рисунок 9 - РФА продукта диспергирования
индия в этиловом спирте (а) и деионизированной воде (б)

С использованием исходных данных рентгенофазового анализа продукта диспергирования индия в этаноле были построены дифрактограммы (РФА) образцов (рисунок 9).

Рентгенофазовый анализ продуктов диспергирования индия в деионизированной воде (рисунок 9, б) и этиловом спирте (см. рисунок 9, а) показал, что все дифракционные линии принадлежат металлическому тетрагональному индию с пространственной группой 14/mm (139)). Для продукта диспергирования индия в деионизированной воде a = 0,3251нм, и c = 0,4945 нм; a = 0,3256 нм и c = 0,4951нм 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 ($2\Theta = 30{,}68^0$). 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 ренгенофазовым анализом наночастиц из этилового спирта после хранения в течение двух недель.

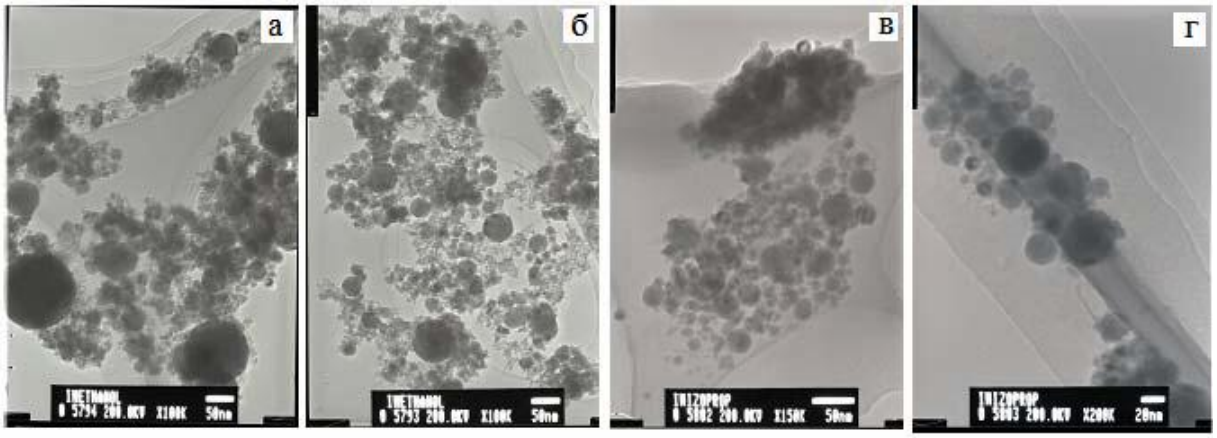

Рисунок 10- ПЭМ снимки наночастиц индия (а,б) – в этиловом спирте; (в,г) – изопропиловом спирте

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

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 удается из-за стремления индия к формированию металлических наночастиц благодаря инертной паре электронов во внешней электронной оболочке.

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 11, 13.). СЭМ анализ (рисунки 12, 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 12, 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%.

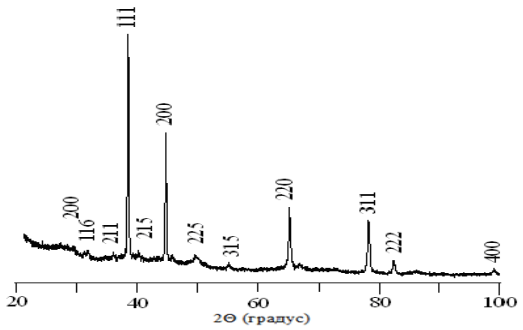

Рисунок 11 - РФА дисперсии алюминия из этилового спирта

По результатам анализа дифрактограммы дисперсии алюминия из этилового спирта (рисунок 11.): параметры кристаллической решетки: Al (кубическая) a = 4,0528; Al_2O_3(тетрагональная) a = 5,627Å, c = 23,852 Å

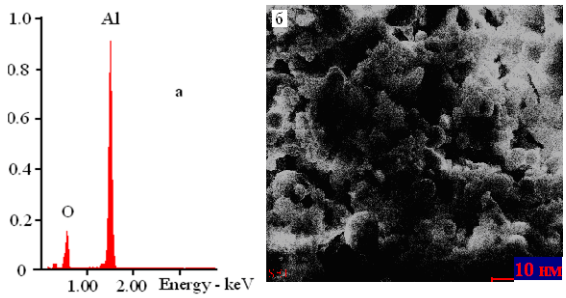

Рисунок 12 - Энергодисперсионный анализ (а) и СЭМ снимок (б) наночастицы алюминия полученного в этиловом спирте

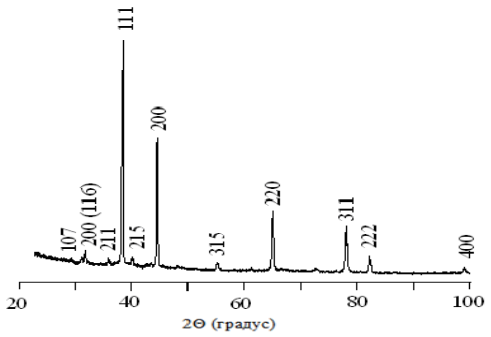

Рисунок 13-РФА дисперсии алюминия из изопропилового спирта

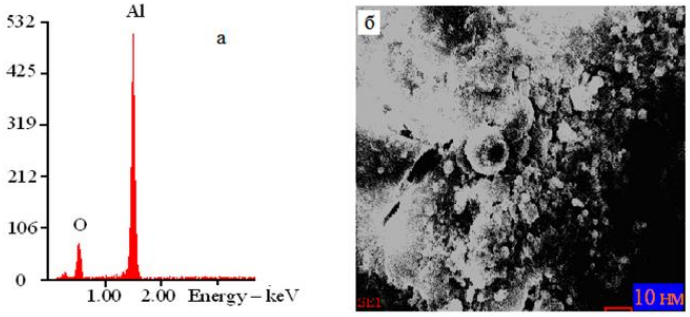

Рисунок 14- Энергодисперсионный анализ (а) и СЭМ - снимок (б) наночастиц алюминия полученного в изопропиловом спирте

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.

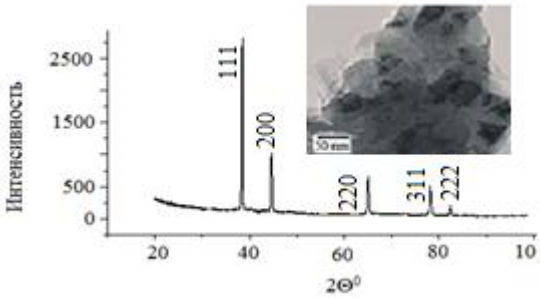

Рисунок 15 - РФА наночастиц алюминия из толуола

Наноструктурирование алюминия в ИПЖ в толуоле сопровождается образованием наночастиц алюминия с гранецентрированной кубической решеткой (дифрактограмма на рисунке 15, внизу), параметр кристаллической

решетки: Al (кубическая) a = 0,4057 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 15, вверху). Размер наночастиц алюминия 5-50 нм.

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

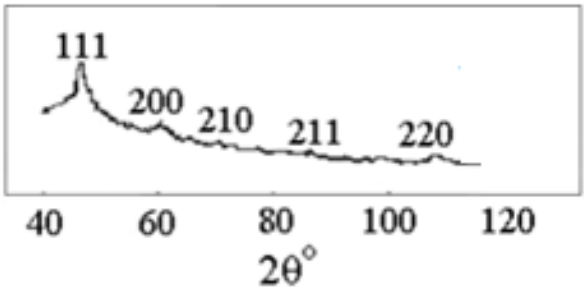

Рисунок 16 – РФА наночастиц меди из гексана

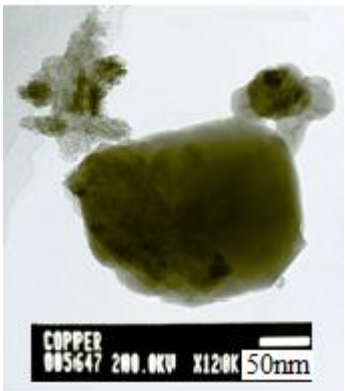

Рисунок 17 - ПЭМ снимок наночастиц меди из гексана в монослоях графена

РФА (рисунок 16) наночастиц меди из гексана позволил установить образование металлических наночастиц с гранецентрированной кубической структурой (ГЦК) структурой (ПГ O_h^5-Fm3m). Самая интенсивная линия соответствует индексу (111). Набор линий отражения наночастиц меди из гексана соответствует ГЦК-решетке. На снимке, полученном на просвечивающем электронном микроскопе (рисунок 17) видны слои графена на

поверхности наночастиц меди из стирола. Средний размер из кривой радиального распределения наночастиц меди – 3,0 нм.

У наночастиц алюминия и меди из ИПЖ имеются грани (111), т.е. возможно формирование графена из ароматических молекул толуола. Действительно, на ПЭМ снимке (рисунок 15,вверху) наночастицы алюминия «окутаны» клубками монослоев графена.

На дифрактограмме наночастиц индия с гранецентрированной тетрагональной элементарной ячейкой (рисунок 5) не обнаружено линии отражения 111, хотя на поверхности наночастиц индия образуются скопления графеновых нанолент (рисунок 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.

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 2х 10^7Па, время процесса 10^{-5} -10^{-8}сек.

На основании расчетных данных построены графические зависимости содержаний основных компонентов в парогазовой плазме (моль/кг) от ее температуры (рисунок 22).

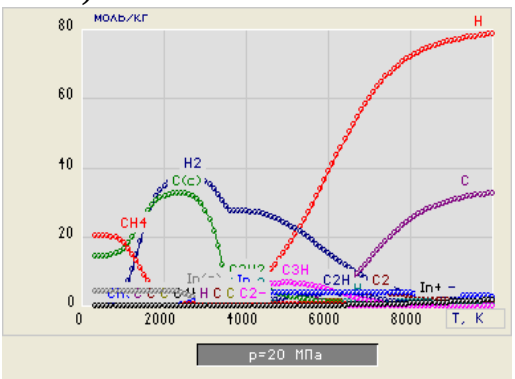

Рисунок 18 - Зависимости концентрации основных компонентов и частиц от температуры околоискрового пространства (система C_6H_{14}–In), моль/кг: C - 34,812; H- 81,229; In-4,355)

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

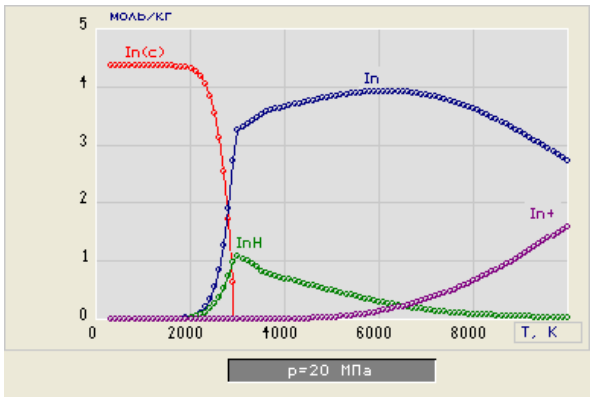

Рисунок 19 - Зависимости концентрации индий содержащих компонентов и частиц от температуры околоискрового пространства (система C_6H_{14}–In), моль/кг(система: C_6H_{14}–In), моль/кг: C -34,812; H- 81,229; In-4,355)

Из зависимости 19 видно, что в околоискровом 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^+.

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

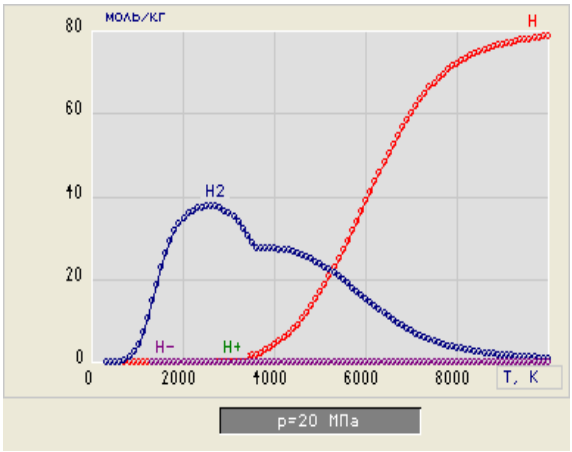

Рисунок 20 - Зависимости концентрации водород содержащих компонентов и частиц от температуры околоискрового пространства (система C_6H_{14}–In), моль/кг: C -34,812; H- 81,229; In-4,355)

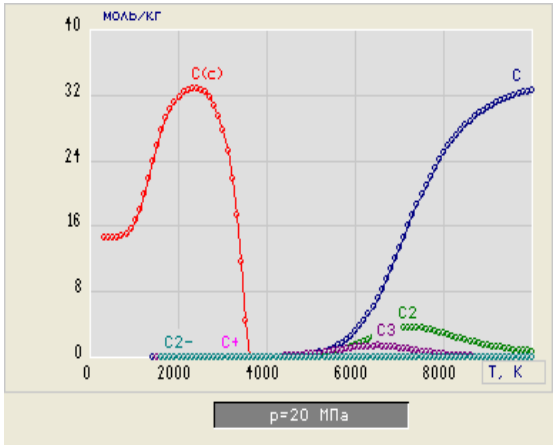

Рисунок 21 - Зависимости концентрации углеродистых компонентов и частиц от температуры околоискрового пространства (система C_6H_{14}–In), моль/кг: C -34,812; H- 81,229; In-4,355)

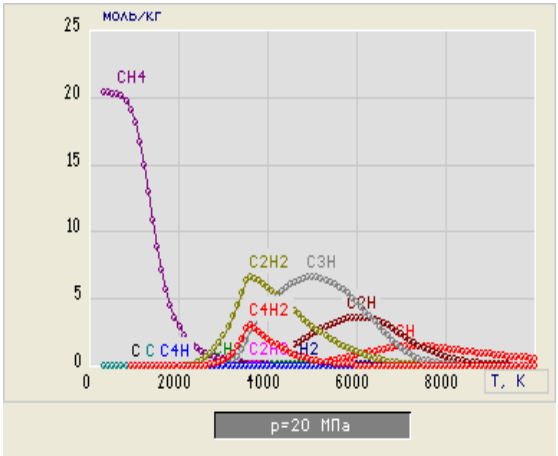

Рисунок22-Зависимости концентрации углеводородных осколков от температуры околоискрового пространства (система C_6H_{14}–In), моль/кгмоль/кг: C -34,812; H- 81,229; In-4,355).

На всем протяжении процесса диспергирования индия от 0 до 10000К в околоискровом пространстве возникает восстановительная среда, состоящая из молекул и атомов водорода (рисунки 20-22.). Кроме водородсодержащих компонентов формирование наночастиц индия поддерживается присутствием углеродсодержащих компонентов, среди которых присутствуют осколки фуллеренов в виде C_2, углеводородные остатки (см. рисунок 22.). Образование графеновых нанолент, происходит благодаря, именно, присутствию фуллереновых остатков, ароматических фрагментов.

Бактерицидная активность наночастиц индия

Под биологической активностью наночастиц ученые в первую очередь подразумевают антибактериальное, антивирусное 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 указанием «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам» МУК 4.2.1890-04. Взвеси бактерий готовили из суточной культуры, выращенной при 37°С на мясопептонном агаре.

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

Минимальная ингибирующая концентрация сурьмы для Diplococcussepticus - 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 Diplococcussepticus - 0,0014 масс. %, индия для бифидумбактерий – 0,002 масс. %, серебра для бифидумбактерий - 0,00001 масс. %.

ВЫВОДЫ

1. При наноструктурировании индия в гексане, этиловом и изопропиловом спирте, деионизированной воде образуются металлические наночастицы тетрагональной симметрии. Оксид индия In_2O_3 формируется на поверхностях металлических наночастиц (дисперсионные среды: этиловый,

изопропиловый спирты, деионизированная вода) в качестве протекторной пленки.

2. 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.

3. Повышение энергии единичного импульса до 0,05 Дж приводит к образованию металлических наночастиц с такой же симметрией, закутанных в графеновые наноленты. Подобные композиты могут найти применение в электронике, альтернативной энергетике в качестве основы для создания электрических батарей, а также солнечных элементов.

4. 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.

5. При диспергировании алюминия в этиловом спирте образуется композит Al (62,06 %) + Al_2O_3 (37,94 %), размеры наночастиц алюминия 4 - 10 нм. В изопропиловом спирте также образуется нанокомпозит Al (63,06 %) + Al_2O_3(36,94 %).

6. Синтезированы графеновые наноленты на поверхностях алюминиевых наночастиц, полученных при его наноструктурировании в толуоле.

7. Изучена бактерицидная активность нанораствора индия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при наноструктурировании индия в гексане и, что примечательно, в кислородсодержащих дисперсионных средах с использованием энергии импульсной плазмы, формируются только металлические наночастицы индия. Размеры наночастиц индия зависят от энергии единичного импульса, природы дисперсионной среды. При диспергировании индия в гексане, при энергии единичного импульса 0,05 Дж образуются графеновые наноленты на поверхностях наночастиц индия. Графеновые наноленты формируются и на поверхностях наночастиц алюминия из толуола и меди из гексана. Преимущественное формирование металлических наночастиц индия и алюминия в гексане и толуоле при энергонасыщении этих металлов в импульсной плазме обеспечивается восстановительной атмосферой, образующейся при распаде углеводородов при воздействии единичного импульса. Присутствие восстановительной атмосферы показано термодинамическим моделированием системы индий-гексан. Изучена бактерицидная активность наночастиц индия, полученных в деионизированной воде по отношению к Бифидумбактериям.

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

1. **Кудайбергенова, Д. С.** Влияние среды на формирование наноструктурных частиц индия [Текст] /Д. С. Кудайбергенова. - Известия вузов, №5, 2014. - С. 43-45.
2. **Кудайбергенова, Д. С.** Синтез наночастиц индия с использованием энергии импульсной плазмы [Текст]/Д.С. Кудайбергенова. - Вестник КГУСТА , 2013 .- № 3.- С. 157-160.
3. **Кудайбергенова, Д. С.** Наноструктурирование редкого и рассеянного индия [Текст]/Д. С. Кудайбергенова. Молодой ученый. — 2016. — №19. — С. 36-40. — URL https://moluch.ru/archive/123/33986/
4. **Кудайбергенова, Д. С.** Indium Nanoparticles by pulsed plasma[Текст]:/ Д. С. Кудайбергенова, С. К. Сулайманкулова. - Молодой ученый. — 2016. — №10. — С. 378-382. — URL https://moluch.ru/archive/114/29738/
5. **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.
6. **Кудайбергенова, Д. С.** Графеновые наноленты на поверхностях наночастиц из импульсной плазмы, создаваемой в жидкостях (ИПЖ). [Текст]/ Д. С. Кудайбергенова. - Научные исследования в Кыргызской Республике, № 2, 2020, Ч.II. - С.54-59.
7. **Кудайбергенова, Д. С.** Квазикристаллическая кластерная модель жидких металлов [Текст]/Д. С. Кудайбергенова, А. С. Абдыкеримова.- Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2014.- № 5. - С. 43-46.
8. **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.

Кудайбергенова Динара Сабыровнанын 05.16.08 - Нанотехнология, наноструктуралык материалдар адистиги боюнча химия илимдеринин кандидаты илимий даражасы үчүн жазылган "Индийдин жана алюминийдин наноструктураларын синтездөө, алардын физика-химиялык касиеттерин үйрөнүү" деген темадагы диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: 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, сканерлөөчү электрондук микроскопиясы (ПЭМ ВР, СЭМ, ТЭМ), дифрактометрлер: ДРОН-3, ДРОН-6 жана Rigaku RINT-2500, жогорку (мүмкүнчүлүктөгү) чечилиштүү электрондук микроскоп (ПЭМ ВР) бренди JEOL -200FX, JEOL JSM-6490LA сканерлөөчү электрондук микроскоп. N4 Plus Submicron Particle Size Analyzer и LS 13 320 Aqueous Liquid Modul аппараты менен гранометрикалык анализдөө.

Суюктукта импульстук плазма. Суюк чөйрөдө (ИПЖ) түзүлгөн жана Химия жана Химиялык Технологиялар Институтунун нанотехнология лабораториясында наноструктураларды түзүү үчүн колдонулган импульстуу плазма, катуу наноструктураны түзүүнүн эң эффективдүү ыкмаларынын бири.

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 алюминийди 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, ЗЭМ), дифрактометры: ДРОН-3, ДРОН-6 и Rigaku RINT-2500, Просвечивающий электронный микроскоп высокого разрешения (ПЭМ ВР) марки JEOL-200FX, сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6490LA. Гранулометрический анализ на аппарате N4 Plus Submicron Particle Size Analyzer и LS 13 320 Aqueous Liquid Module.

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.

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. 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.

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, ZEM), diffractometers: DRONE-3, DRONE-6 and Rigaku RINT-2500, High-resolution transmission electron microscope (TEM BP) brand JEOL-200FX, scanning electron microscope JEOL JSM-6490LA. Granulometric analysis on the N4 Plus Submicron Particle Size Analyzer and LS 13 320 Aquatic Liquid Module.

Pulsed plasma in a liquid. Pulsed plasma created in liquid media and used in the Nanotechnology laboratory of the Institute of Chemistry and Chemical Technology to create nanostructures is one of the effective methods of solid nanostructuring [6].

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 х 90/16. Объем 1,5 п. л.
Отпечатано в ОсОО «Соф Басмасы»
720020, г. Бишкек, ул. Ахунбаева, 92