



# Лаборатория физики углеродных наноструктур и композитных систем

**Заведующий лабораторией:** д.ф.-м.н, в.н.с. Сулейманов Н.М. **Сотрудники:** к.ф.-м.н., вед. инженер Тогулев П.Н.; к.ф.-м.н., н.с. Хантимеров С.М.; с.н.с. Куковицкий Е.Ф.; н.с. Львов С.Г.; н.с. Шустов В.А.; инж.-иссл. Гурьянова О.М.; сл.-рем. Гайнутдинов И.В.; гл. спец. Саинов Н.А.

В ЛФУНКС научные исследования проводятся по теме «Создание новых функциональных нанокомпозитов и структур с улучшенными электрокаталитическими, прочностными и электродными характеристиками и их изучение микроскопическими и магниторезонансными методами», руководитель темы: д.ф.-м.н. Бухараев А.А.

## Основные направления исследований:

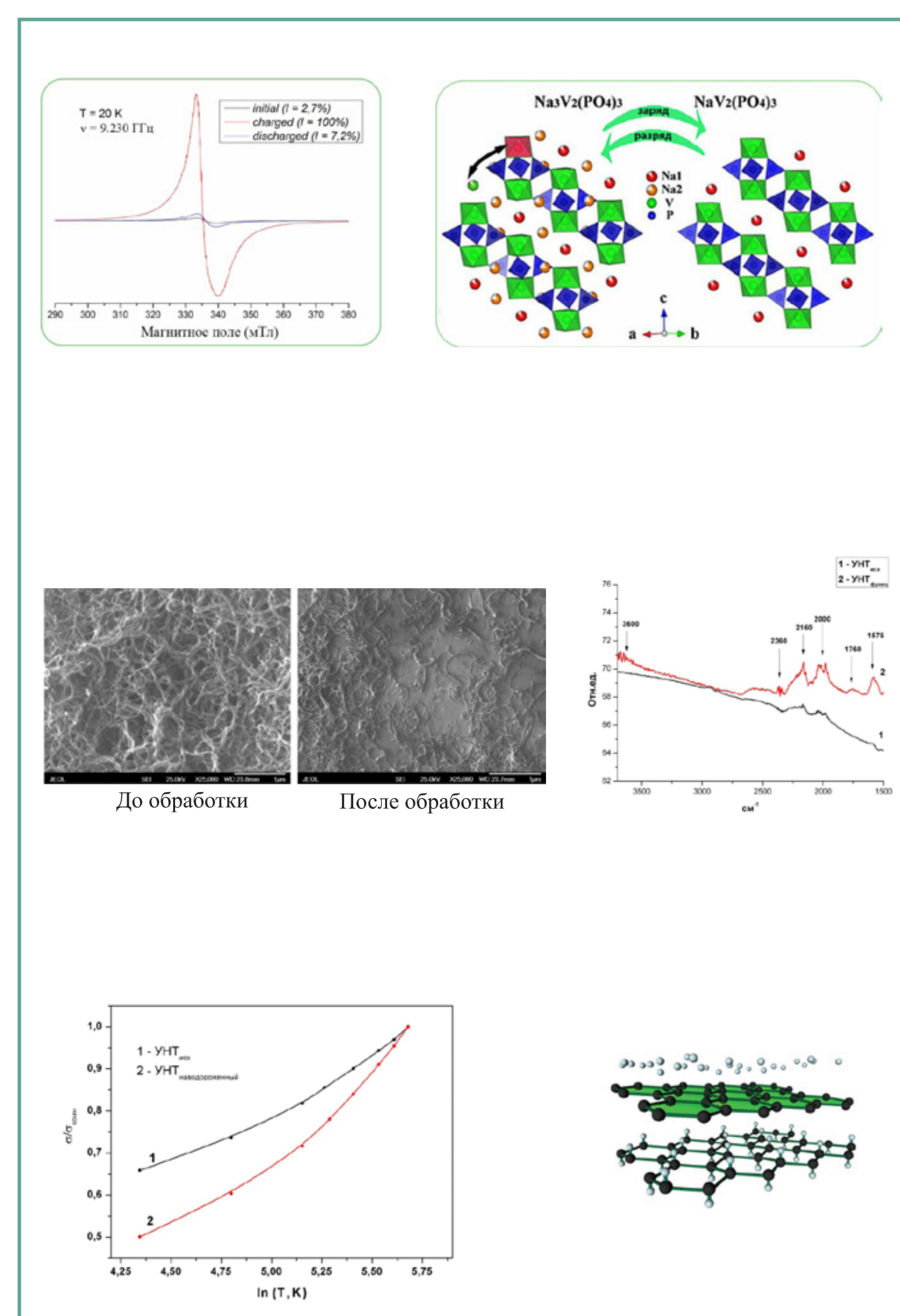
1. Установление фундаментальных закономерностей, определяющих взаимосвязь между рабочими параметрами (энергетическая плотность, время жизни, рабочее напряжение) и структурными, электронными и магнитными свойствами анодных и катодных материалов литий (натрий)-ионных электрохимических источников энергии.
2. Разработка методов модификации углеродных наноструктур и создание на их основе функциональных материалов с заданными прочностными и электрофизическими свойствами.
3. Изучение поверхностных явлений, сопровождающих осаждение углерода на металлических поверхностях в процессах пиролиза углеводородов.
4. Выращивание кристаллов узкозонных полупроводников типа АВВVI как материальной основы новых элементов спинтроники.

## Основные результаты:

1. Методом ЭПР установлено валентное состояние ванадия и локальная кристаллическая структура ближайшего окружения ионов ванадия в исходном, заряженном и разряженном образцах соединения  $\text{Na}_x\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ , ( $1 \leq x \leq 3$ ). Установлено, что в заряженном образце ( $x = 1$ ) ионы ванадия находятся в валентном состоянии  $4^+$  и дают интенсивный сигнал ЭПР. При этом  $\text{VO}^{2+}$  октаэдры имеют сильное тетрагональное искажение. Обнаружен сигнал ЭПР, связанный с возникновением антиструктурных дефектов, заключающихся в локализации части ионов ванадия на позициях ионов натрия. Установлено, что наблюдается рост числа данных дефектов после цикла заряд-разряд. Такое поведение связывается с миграцией части ионов ванадия из собственных позиций в позиции натрия под действием приложенного внешнего потенциала в процессе заряд-разряд.

2. Проведены экспериментальные исследования по модификации углеродных нанотрубок с целью последующего получения на их основе композитных материалов с заданными или регулируемые физическими и химическими свойствами. Методом Оже-микроскопии установлено, что совместная термохимическая и ультразвуковая обработки в кислотных растворах позволяют диспергировать агломераты УНТ до единичных нанотрубок. Методом ИК-спектроскопии установлен качественный состав функциональных групп (гидроксильная, карбоксильная, альдегидная) на поверхности модифицированных углеродных нанотрубок.

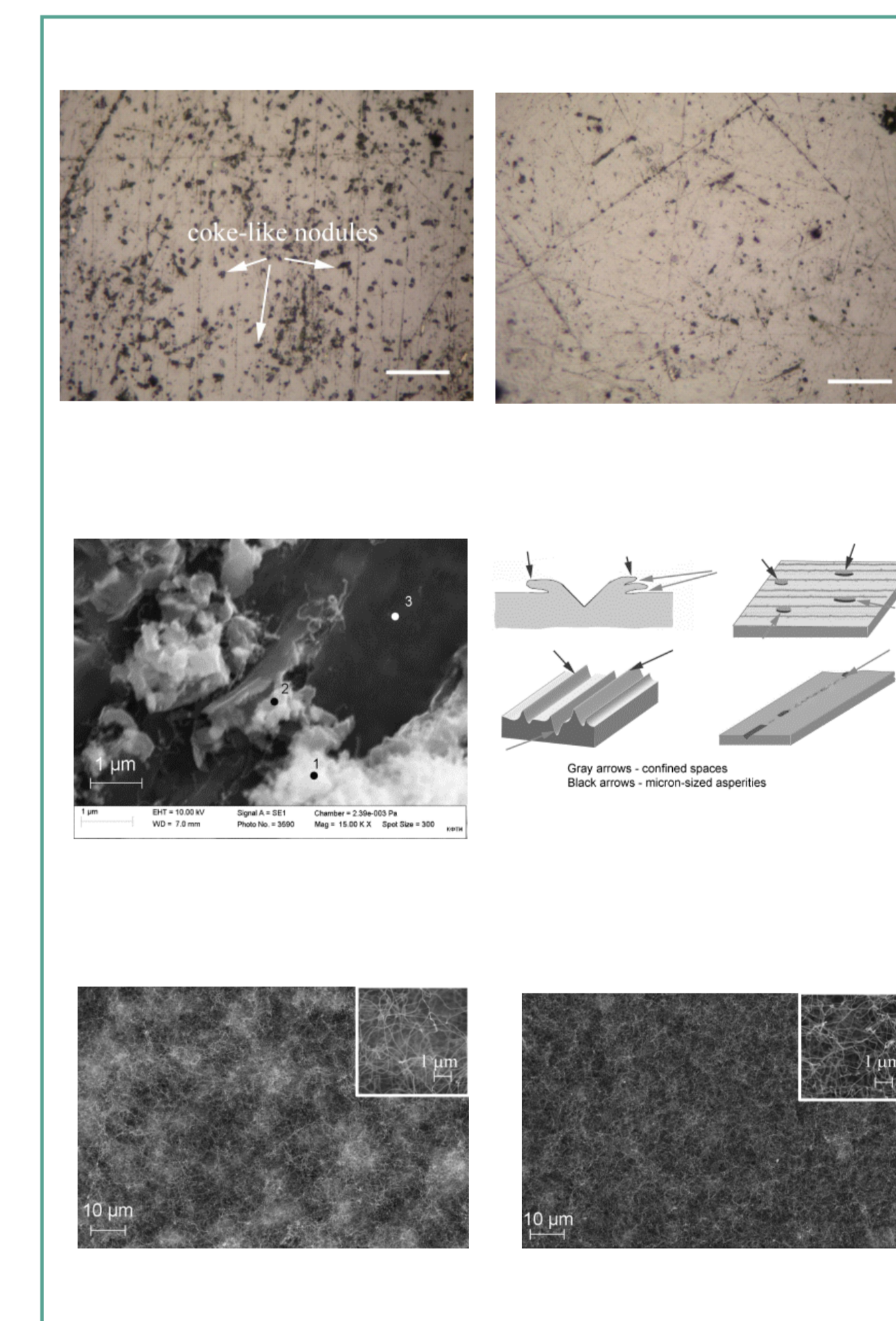
3. Четырехзондовым методом были получены температурные зависимости электропроводности наводороженных конических углеродных нанотрубок. Установлено, что электрохимическое наводороживание приводит к значительному снижению проводимости конических углеродных нанотрубок, что может быть связано с уменьшением концентрации носителей тока в результате наводороживания вследствие локализации водорода на углеродных p-орбиталях и перехода от  $sp^2$  к  $sp^3$  гибридизации зонной структуры кУНТ.



4. Проведены экспериментальные исследования химического осаждения паров углерода на подвергнутую абразивной обработке поверхность металлического никеля. Показано, что при осаждении углерода на шероховатую поверхность в сравнении с гладкой поверхностью необходимо учитывать два основных явления: первое – это рост скорости осаждения углерода на дефектах поверхности, включая области с большим отношением поверхность–объем (ямки, зазоры, трещины и т.д. со значением отношения глубины к ширине  $>0.5$ ). Малые каверны (пустоты) в подповерхностном слое также являются местами ускоренного формирования углерода. Второе явление – быстрая углеродная коррозия типа metal dusting микронных неровностей поверхности, образованных пластически деформированным металлом и сгенерированных процессом абразивной обработки. Многочисленные микротрещины, появляющиеся на поверхности в ходе такой коррозии, способствуют запуску и ускорению первого эффекта. Сделан вывод о том, что в процессах пиролиза углеводородов химия каталитически активной поверхности при переходе от гладкой поверхности к шероховатой может существенно меняться.

5. На основании выявленных особенностей осаждения углерода на массивный никель в процессе CVD предложена методика подготовки поверхности никелевых подложек, оптимизирующая получение однородных слоев углеродных нанотрубок. Предполагается, что улучшение однородности УНТ слоев должно привести к улучшению электронно-эмиссионных характеристик таких структур.

6. Проведены многочисленные измерения рентгеновской дифракции на объемных и тонкопленочных образцах для определения их фазового состава, в том числе по исследованиям, проводимым в других лабораториях института; исследования профилейного анализа MAUD с целью определения постоянной решетки, размеров кристаллитов, микроскажений, текстуры и других параметров; выполнены операции высокоточной (менее  $1^\circ$ ) ориентировки монокристаллических образцов.



## Проекты:

1. РФФИ №14-08-31384/15, мол. а, Исследование влияния обработки на электрические и магнитные свойства углеродных нанотрубок, рук. С.М. Хантимеров.
2. РФФИ-Поволжье №15-42-02477, Разработка физических основ новых элементов спинтроники на базе топологических изоляторов, рук. Г.Б. Тейтельбаум Г.Б.
3. РФФИ №13-08-00906\_а, Пиннинг вихрей на точечных и протяженных дефектах в композитах на основе высокотемпературных сверхпроводников, углеродных нанотрубок и металлических нанопорошков, рук. Базаров В.В.

## Международная деятельность:

Двустороннее международное научное сотрудничество между Российской и Польской академиями наук. Тема «Структурные, транспортные и электронные свойства новых функциональных материалов для топливных элементов и литий-ионных батарей.

### Сотрудничающие стороны:

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН, Отв.исполнитель: Н.М. Сулейманов. Институт низких температур и структурных исследований им. В.Тшебятовского Польской академии наук, г. Вроцлав, Польша. Ответственный исполнитель: проф. Х. Друлис.

## Список публикаций и участие в конференциях:

1. Nanotechnology in Advanced Electrochemical Power Sources. N.M. Suleimanov, S.R.S. Prabaharan, D.R. Abdullin, M. S. Michael. 350 pages, pp. 199-218 (2015).
2. Антиструктурные дефекты и валентное состояние ванадия в  $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ . Ф.А. Низамов, П.Н. Тогулев, Д.Р. Абдуллин, С.М. Хантимеров, П. Балая, Н.М. Сулейманов. ФТТ, том 58, вып. 3 (2016).
3. Surface Integrity and Carbon Chemical Vapor Deposition on Nickel Foil: Surface Abrasive Treatment. E. F. Kukovitsky, S. G. Lvov, V. A. Shustov, and N. M. Lyadov. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 4 (9) M51-M59 (2015).
4. Импульсная модификация пленок германия на подложках кремния, сапфира и кварца: структура и оптические свойства. Новиков Г.А., Багалов Р.И., Баязитов Р.М., Файзрахманов И.А., Лядов Н.М., Шустов В.А., и др. Физика и техника полупроводников. Т. 49, № 6. С. 746-752 (2015).
5. Интеркаляция и модификация структурных и электрофизических свойств углеродных нанотрубок. С.М. Хантимеров, Д.Р. Абдуллин. Итоговая конференция молодых ученых КФТИ КазНЦ РАН: Казань, Россия, 24 марта 2015. – Казань: КФТИ КазНЦ РАН, 2015. – С. 9-12.
6. Dopants based on carbon nanotubes with controllable electrophysical properties. S.M. Khantimero, N.M. Suleimanov. I Международная научно-практическая конференция «Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение», г. Тамбов, 11-13 ноября 2015 г.
7. Модифицированные наноструктурные наполнители для полимеров. С.М. Хантимеров, Н.М. Сулейманов. МНТК «ИМТОМ-2015», г. Казань, 2 – 3 декабря 2015 г.
8. Optimization of surface abrasive treatment during synthesis of mwnt layers on bulk nickel. S.G. Lvov, E.F. Kukovitsky, V.A. Shustov, N.M. Lyadov. International Conference Advanced Carbon Nanostructures. St. Petersburg, June 29 - July 03, 2015.
9. To the ESR Studies of the Topological Insulators. V.O.Sakhin, E.F.Kukovitsky, Yu.I. Talanov, G.B.Teitelbaum. International Conference Modern Development of Magnetic Resonance Kazan, September 22-26, 2015.