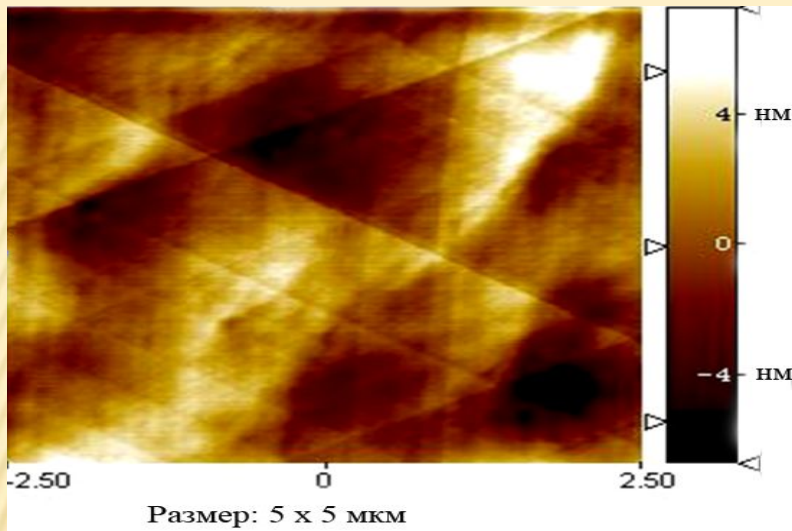
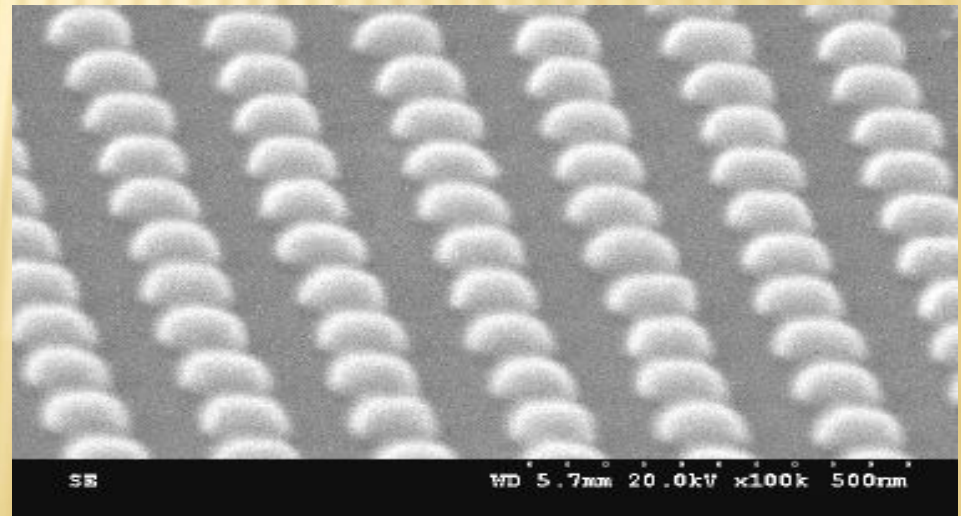
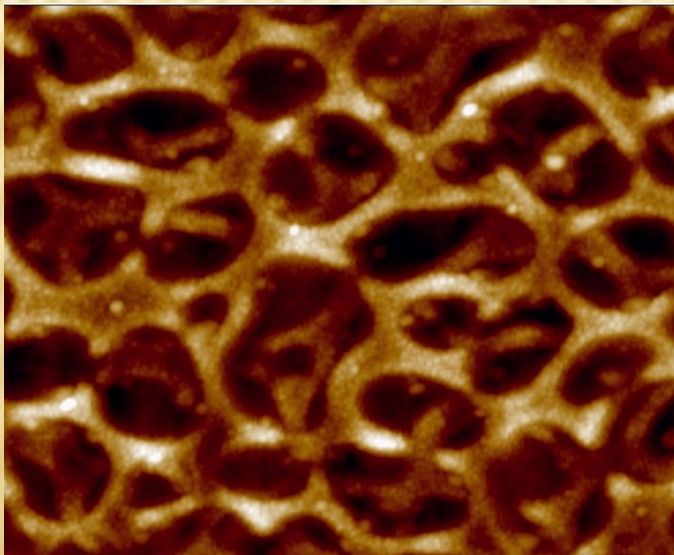


НАНОМАТЕРИАЛЫ



Мошников В.А.
7 сентября 2022 г.

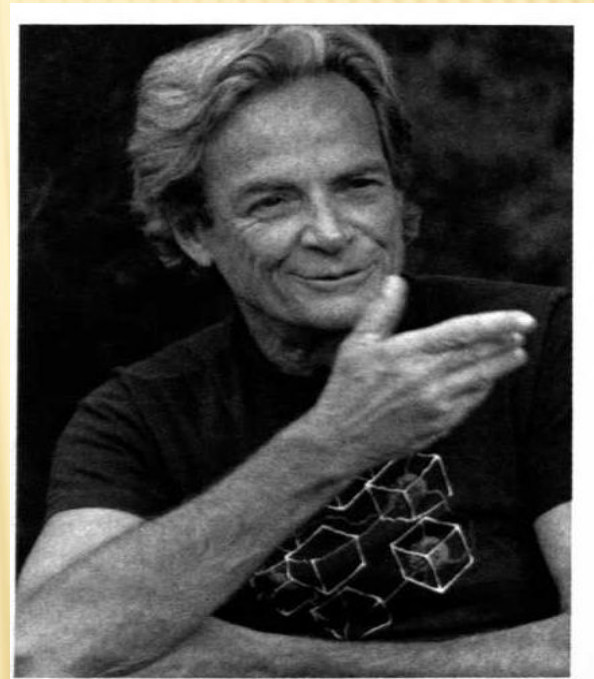


КЛАССИФИКАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ

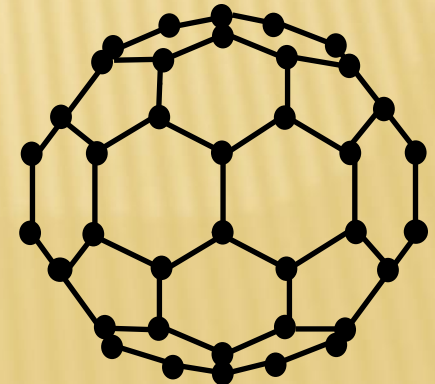
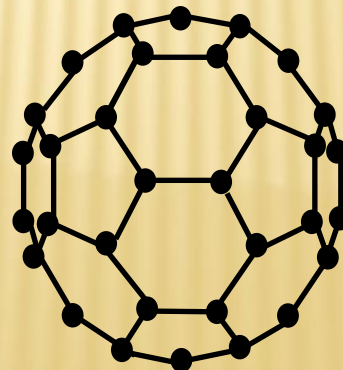
Рекомендации 7-й Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004 г.) выделяют следующие типы наноматериалов:

- **наночастицы;**
- **нанотрубки и нановолокна;**
- **нанопористые структуры;**
- **нанодисперсии (коллоиды);**
- **наноструктурированные поверхности и пленки;**
- **нанокристаллы и нанокластеры.**

Такая классификация не достаточно детализирована



Ричард Фейнман, лауреат Нобелевской премии 1965 года в области физики



РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА ЭКСПЕРТОВ (PITKETHU, 2003)

Как бы Вы определили нанотехнологию

Это технология, которая имеет дело с элементами размером до 100 нм

45 % респондентов

Это технология, которая имеет дело с элементами субмикронного уровня

17 % респондентов

Это технология, которая действует на основе новых законов физики

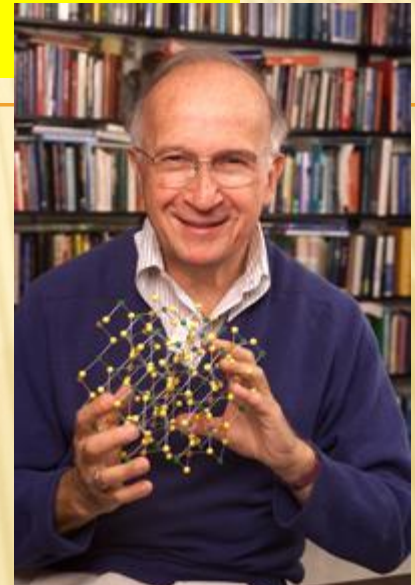
5 % респондентов

Это технология, которая используется на уровне атомов и молекул

23 % респондентов

Прочие/нет ответа

10 % респондентов



Рóалд Хóфман ([англ. Roald Hoffmann](#); род. **18 июля**; род. 18 июля **1937 года**; род. 18 июля 1937 года, **Злочув**; род. 18 июля 1937 года, Злочув, **Польша**; род. 18 июля 1937 года, Злочув, Польша) — **американский**; род. 18 июля 1937 года, Злочув, Польша) — американский химик, лауреат **Нобелевской премии по химии**; род. 18 июля 1937 года, Злочув, Польша) — американский химик, лауреат Нобелевской премии по химии 1981 г. «за разработку теории протекания окислительно-восстановительных реакций совместно с **Кэнъити Фукуи**

Нобелевский лауреат Р-Хорфман

В ответ на вопрос, что такое

нанотехнология, остроумно заметил, что рад тому, что для химии люди нашли новое название.

НАНОЧАСТИЦЫ (ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТА)

Твердые объекты с внешними размерами во всех трех измерениях в нанодиапазоне, приблизительно от 1 нм до 100 нм.

*Если размеры объекта в разных измерениях отличаются значительно (более 3 крат), то к таким объектам применяются термины **наностержень** или **нанопластина** вместо термина наночастица.*

Общие характеристики частиц:

Средний размер частиц и распределение частиц по размерам.

Средний размер кристаллитов и распределение кристаллитов по размерам.

Степень агломерирования частиц

*(**слабое агломерирование** – связь частиц слабыми связями типа сил Ван-дер-Ваальса, **сильное агрегирование** характеризуется сильными межчастичными связями)*

Удельная площадь поверхности

Химический состав объема частиц

Состав по сечению частиц для частиц неоднородного состава типа «ядро в оболочке».

Морфология частиц

Химический состав поверхности

Кристаллическая структура

Содержание влаги и других адсорбатов

**Норио
Танигучи**



НАНОЧАСТИЦЫ

1.1.	Наночастицы металлические	Из металлов (сплавов), в частности, титана, железа, меди, алюминия, золота, серебра для катализа, медицины и других применений, наряду с общими характеристиками по п. 1, могут характеризоваться: Степенью окисления Условиями воспламеняемости	ТГА, ДТА ТГА, ДТА
------	-------------------------------------	---	----------------------

НАНОЧАСТИЦЫ ОКСИДОВ

1.2.	Наночастицы оксидов	<p>Из оксидов алюминия, титана, железа, цинка, циркония и др. используемых, например, для формирования объемных оксидных керамик и покрытий, в полировочных составах, в косметических составах, наряду с общими характеристиками по п. 1, могут дополнительно характеризоваться:</p> <p>Стабильностью фазовых состояний</p>	ТГА, ДТА
------	----------------------------	---	----------

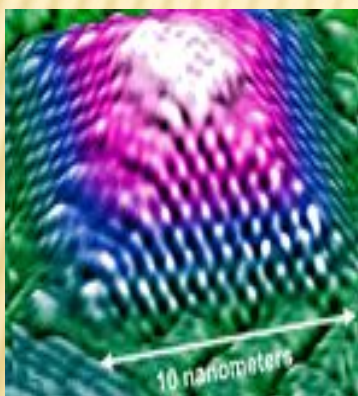
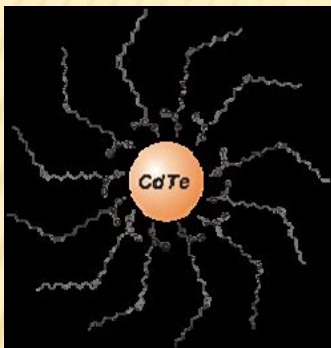
НАНОЧАСТИЦЫ БЕСКИСЛОРОДНЫХ КЕРАМИК

1.3.	Наночастицы бескислородных керамик	На основе карбидов, нитридов, силицидов и др. соединений используемых, например, для формирования объемных бескислородных керамик и покрытий, в полировочных составах, в антифрикционных составах, наряду с общими характеристиками по п. 1, могут дополнительно характеризоваться: Стабильностью фазовых состояний Степенью окисления	РФЭС, ТГА, ДТА ТГА, ДТА
------	---	--	----------------------------

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ

2

Квантовые точки



Наночастицы, как правило полупроводниковые (кремний, сульфид цинка и др.) или металлические, проявляющие размерную зависимость электронных и оптических свойств благодаря эффекту квантования. Наряду с общими характеристиками по п. 1, могут дополнительно характеризоваться:

Спектрами люминесценции

Электронной структурой объема

Электронной структурой поверхности

ФЛ, КЛ

ОЭС

РФЭС, РЭС, ОЭС

НАНОПОРОШОК

3.	Нанопорошок	<p>Масса из сухих наночастиц, характеризующаяся наряду с общими характеристиками по п. 1 (и дополнительным пп. 1.1, 1.2, 1.3), дополнительно следующими характеристиками:</p> <p>Сыпучесть (текучесть) Насыпная плотность Содержание влаги и других адсорбатов Цвет</p>	<p>Метод равновесного угла Взвешивание стандартного объема ТГА, масс-спектрометрия Метод сравнения</p>
----	-------------	---	--

НАНОМАТЕРИАЛЫ

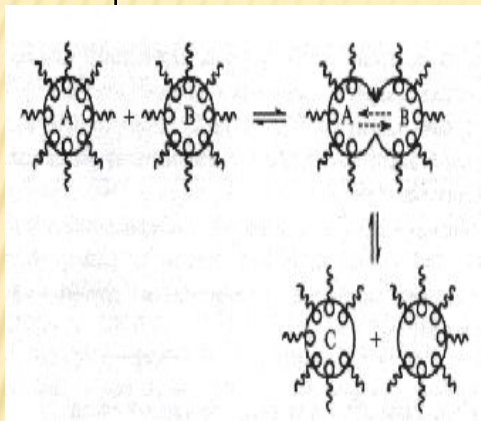
4.	Ультрадисперсный алмаз (УДА)	Наночастицы алмаза (<i>обычно производятся детонационным синтезом</i>) наряду с характеристиками по пп. 1.3 и 3 дополнительно характеризуются: термодинамическими условиями стабильности (температура, давление)	ДТА, ТГА, Фурье-ИК, РС, МУРПСИ, МУРР, МУНР
5.	Аэрогель	Нанопористое и низкоплотное (менее 5 мг/см ³) фрактальное твердое тело, характеризующееся наряду с общими характеристиками по п. 1 (и дополнительным пп. 1.1, 1.2, 1.3), дополнительно следующими характеристиками: Кажущаяся плотность	Гидростатическое взвешивание

НАНОМАТЕРИАЛЫ

6.	Аэрозоль наноразмерный	<p>Метастабильная взвесь твердых или жидких наночастиц в газе <i>(обычно частицы имеют широкий спектр распределения по размерам примерно от 1 нм до 100 мкм).</i></p> <p>Наряду с общими характеристиками по п. 1 (и дополнительными по пп. 1.1, 1.2, 1.3), характеризуется следующими параметрами:</p> <p>Прозрачность Цвет</p>	<p>Фотометрия проходящего света Метод сравнения</p>
----	-------------------------------	--	---

НАНОМАТЕРИАЛЫ

7.	Коллоид	<p>Вещество, содержащее наночастицы (наностержни, нановолокна, нанопластины, нанотрубки), диспергированные и распределенные в жидкости. Наряду с общими характеристиками по п. 1 (и дополнительными по пп. 1.1, 1.2, 1.3), характеризуется следующими параметрами:</p> <p>Диспергируемость в полярной или неполярной жидкости</p> <p>Вязкость (текучесть)</p> <p>Параметр pH.</p> <p>Цвет</p> <p>Прозрачность</p>	<p>Метод ζ-потенциала</p> <p>Вискозиметрия</p> <p>Метод pH.</p> <p>Метод сравнения</p> <p>Фотометрия проходящего света</p>
----	---------	---	---



НАНОСТЕРЖНИ

Прямой твердый нанообъект с двумя подобными внешними размерами в нанодиапазоне и третьим размером много большим двух других (более 3 крат).

(большой размер - не обязательно из нанодиапазона; сечение наностержня может иметь любую форму, оставаясь в диапазоне наноразмеров)

Общие характеристики:

Средний поперечный размер наностержней и распределение по размерам

Средняя длина наностержней и распределение длин по размерам

Среднее аспектное отношение и его распределение

Средний размер кристаллитов и распределение кристаллитов по размерам

Степень агломерирования частиц

(слабое агломерирование – связь частиц слабыми связями типа сил Ван-дер-Ваальса, сильное агрегирование характеризуется сильными межчастичными связями)

Удельная площадь поверхности

Химический состав объема частиц

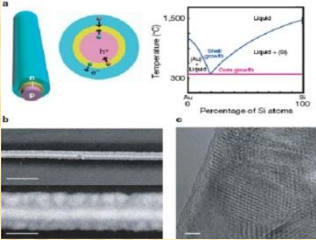

Кристаллографическая анизотропия

Химический состав поверхности

Функционализация поверхности

Содержание влаги и других адсорбатов

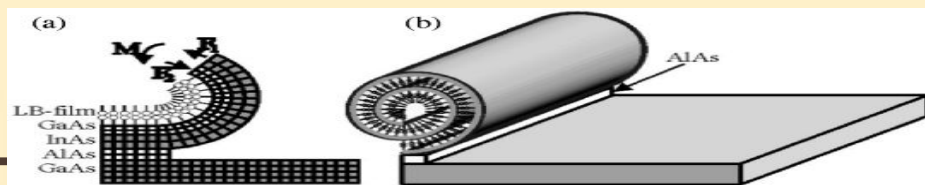
НАНОМАТЕРИАЛЫ

9.	Нановолокно	<p>Гибкий длинномерный объект с формой наностержня (типами нановолокна являются также нановискер и нанопроволока).</p> <p>Характеристики по п. 8</p>	См. п. 8
10.	Нанопроволока 	<p>Проводящее или полупроводящее нановолокно.</p> <p>Наряду с общими характеристиками по п. 8 дополнительно характеризуется:</p> <p>Проводимостью вдоль большого размера</p>	ФП
11.	Углеродное нановолокно 	<p>Углеродные нити (длинномерные объекты) с поперечным размером в нанометровом диапазоне.</p> <p>Наряду с общими характеристиками по п. 9 дополнительно характеризуется:</p> <p>Проводимостью вдоль большого размера</p>	См. п. 9 ФП

НАНОМАТЕРИАЛЫ

<p>12.</p>	<p>Углеродная нанотрубка</p>	<p>Нанотрубка, состоящая из одного слоя атомов углерода, называется однослойной, состоящая из многих слоев – многослойная углеродная нанотрубка</p> <p><u>Общие характеристики нанотрубок:</u></p> <p>Средняя длина нанотрубок и распределение длин по размерам.</p> <p>Средний внутренний и внешний диаметр нанотрубок и распределение по размерам</p> <p>Среднее аспектное отношение и его распределение</p> <p>Толщина стенки</p> <p>Количество одноатомных слоев</p> <p>Химическая чистота, наличие катализатора</p> <p>Структурная чистота продукта – присутствие других углеродных форм</p> <p>Симметрия нанотрубки</p> <p>Степень агломерируемости</p> <p>Химический анализ поверхности</p> <p>Функционализация поверхности</p> <p>Структура концов: закрытые или открытые</p>	<p>РЭМ, ПЭМ, ДРС, НДРС</p> <p>ПЭМ единичных нанотрубок, Рамановская спектроскопия RBM</p> <p>ПЭМ единичных нанотрубок</p> <p>ПЭМ единичных нанотрубок</p> <p>ПЭМ, ИК-ФЛС, УФ-ИК спектроскопия</p> <p>ТГА, ГХ, ВИМС ЭДРА</p> <p>РЭМ, ПЭМ</p> <p>ПЭМ, ИК-ФЛС, УФ-ИК спектроскопия</p> <p>ПЭМ</p> <p>РФЭС, Фурье-ИК, РС Фурье-ИК,</p> <p>ПЭМ</p>
			

НАНОМАТЕРИАЛЫ



13.	Неорганическая нанотрубка	Нанотрубка по п. 12, состоящая не из углеродных атомов. Характеристика нанотрубок по п. 11	См. п. 12
14.	Нанопластина	<p>Нанообъект с одним внешним размером, толщиной, в нанодиапазоне и двумя другими много большими размерами (более 3 крат). <i>(большие размеры - не обязательно из нанодиапазона)</i></p> <p>Общие характеристики:</p> <p>Средний размер нанопластин в плоскости и распределение по размерам</p> <p>Средняя толщина нанопластин и распределение толщин по размерам</p> <p>Среднее аспектное отношение и его распределение</p> <p>Средний размер кристаллитов и распределение кристаллитов по размерам</p> <p>Степень агломерирования нанопластин</p> <p>Удельная площадь поверхности</p> <p>Химический состав объема частиц</p> <p>Кристаллографическая анизотропия</p> <p>Химический состав поверхности</p> <p>Функционализация поверхности</p> <p>Содержание влаги и других адсорбатов</p>	<p>ПЭМ, РЭМ</p> <p>ПЭМ, РЭМ</p> <p>ПЭМ, РЭМ</p> <p>ПЭМ, РЭМ</p> <p>ПЭМ, РЭМ</p> <p>Метод ВЕТ</p> <p>РФА, ОЭС</p> <p>РСА</p> <p>ЭДРА, ОЭС, ВИМС</p> <p>РФЭС, РЭС</p> <p>Фурье-ИК, РС, ОЭС, РФЭС, РЭС, ОЭС, ТГА</p>

НАНОМАТЕРИАЛЫ

15	Наноструктурный материал	<p>Компактный материал, состоящий из кристаллитов (зерен) с размером приблизительно до 100 нм. <i>(наноматериалы могут проявлять свойства, отличающиеся от материалов без наноструктурных особенностей)</i></p> <p><u>Общие характеристики:</u></p> <p>Кристаллическая структура</p> <p>Морфология кристаллитов (зерен)</p> <p>Средний размер кристаллитов (зерен) и их распределение по размерам</p> <p>Элементный (химический) состав</p> <p>Степень однородности элементного состава по объему материала</p> <p>Термическая стабильность наноразмерной структуры</p> <p>Кажущаяся плотность</p> <p>Пористость</p> <p>Цвет</p> <p>Прозрачность</p>	<p>РЭМ, ПЭМ</p> <p>АСМ, РЭМ</p> <p>РЭМ, АСМ, РСА-УЛ ОЭС, ВИМС, ЭДРА</p> <p>ЭДРА</p> <p>ТГА, ДТА</p> <p>Гидростатическое взвешивание</p> <p>Адсорбционная и/или ртутная порометрия</p> <p>Метод сравнения</p> <p>Фотометрия проходящего света</p>
----	---------------------------------	--	--

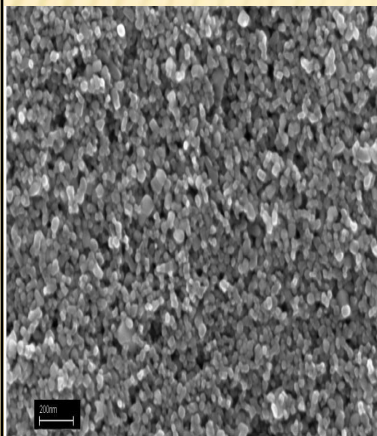
НАНОМАТЕРИАЛЫ

15.1.	Наноструктурный материал металлический	Из металлов (сплавов) , в частности, железа, титана, меди, алюминия, никеля для конструкци-онных, медицинских, электротех-нических, магнитных и других применений, наряду с общими характеристиками по п. 15, могут характеризоваться: <u>Механические свойства:</u> Твердость, микротвердость по Виккерсу Упругие модули Прочность на разрыв Предел текучести Пластичность Термическая стабильность механических свойств Износостойкость в парах трения <u>Электрические и магнитные свойства:</u> Электропроводность в зависимости от температуры Магнитная проницаемость Индукция насыщения Коэрцитивная сила	Индентирование H_v Индентирование E Испытания на разрыв Испытания на разрыв Индентирование H Испытания на раз-рыв при повышен-ных температурах Испытания пар тре-ния под нагрузкой 4-контактный метод Магнитометрия Магнитометрия Магнитометрия
-------	--	--	---

НАНОМАТЕРИАЛЫ

15.2.

Наноструктурный материал
керамический



На основе оксидов, карбидов, нитридов, силицидов и др. соединений используемых, например, для конструкционных, медицинских, электрических и оптических применений, наряду с общими характеристиками по п. 15, могут дополнительно характеризоваться:

Механические свойства:

Твердость, микротвердость по Виккерсу

Прочность на изгиб

Трещиностойкость

Упругие модули

Термическая стабильность механических свойств

Износостойкость в парах трения

Электрические и магнитные свойства:

Электропроводность в зависимости от температуры

Магнитная проницаемость

Диэлектрическая проницаемость

Электрическая прочность

Индукция насыщения

Коэрцитивная сила

Индентирование H_v

Испытания на изгиб

Индентирование K_{1C}

Индентирование E

Испытания на изгиб при повышенных температурах.

Испытания пар трения под нагрузкой

4-контактный метод, импедансная спектроскопия

Магнитометрия

Импедансная спектроскопия

Электрические испытания

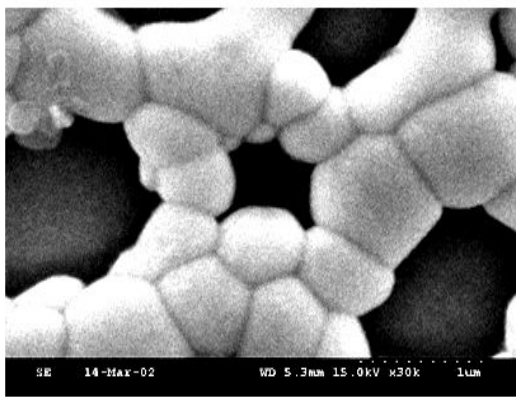
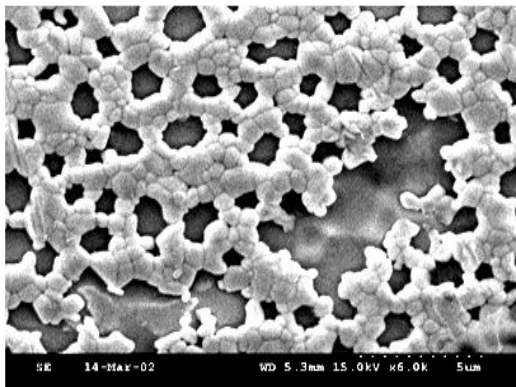
Магнитометрия

Магнитометрия

НАНОМАТЕРИАЛЫ

16. Наноккомпозит

СТРУКТУРА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО
СЛОЯ PbSe



Наноматериал, состоящий из двух или большего числа фаз, в котором хотя бы одна из фаз имеет средний размер кристаллитов (зерен) в нанодиапазоне. Наряду с общими характеристиками по п. 15, наноккомпозит может характеризоваться:

Количественный состав фаз, составляющих наноккомпозит

Средние размеры кристаллитов фаз, составляющих наноккомпозит

Степень однородности распределения наноразмерных фаз в композитном материале

Совместимость наноразмерной усиливающей фазы с матрице композитного материала

АСМ-ФК, РФА/РСА, ЭДРА

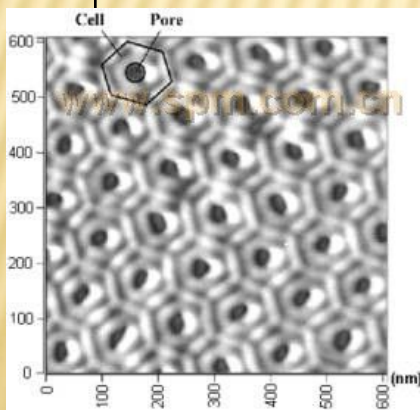
РФА/РСА, АСМ-ФК, ЭДРА, РСА-УЛ, РЭМ АСМ-ФК, ЭДРА РЭМ, ПЭМ, ДТА, ТГА

НАНОМАТЕРИАЛЫ

16.1.	Металло- матричный нанокомпозит (ММНК)	<p>Нанокомпозит на основе металлической матрицы (из железа, титана, меди, алюминия, никеля и др. металлов и сплавов) и распределенных в ней фаз из керамик или металлов (сплавов). ММНК используются, например, для конструкционных, медицинских, электрических и магнитных применений.</p> <p>Наряду с общими характеристиками по п. 16, ММНК могут дополнительно характеризоваться свойствами по п. 15.1.</p>
-------	---	---

НАНОМАТЕРИАЛЫ

16.2.	Керамо-матричный наноккомпозит (КМНК)	<p>Наноккомпозит на основе керамической матрицы (из оксидов, карбидов, нитридов, силицидов и др. соединений) и распределенных в ней фаз из керамик или металлов (сплавов). КМНК используются, например, для конструкционных, медицинских, электрических и оптических применений.</p> <p>Наряду с общими характеристиками по п. 16, наноккомпозиты могут дополнительно характеризоваться свойствами по п. 15.2.</p> <p>г)</p>	
16.3.	Полимер-матричный наноккомпозит (ПМНК)	<p>Наноккомпозит на основе полимерной матрицы и распределенных в ней фаз из керамик или металлов (сплавов). ПМНК используются, например, для конструкционных, медицинских, электрических и магнитных применений.</p> <p>Наряду с общими характеристиками по п. 16, ПМНК могут дополнительно характеризоваться свойствами по п. 15.1 и также:</p> <p>Химической структурой полимера</p> <p>Длиной полимерных молекул</p>	РС, УФ-ИК, ИК-ФЛС ГХ 

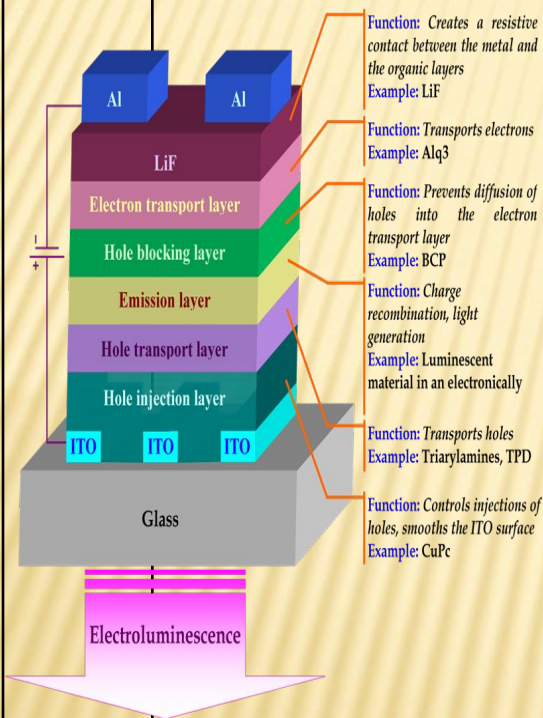


НАНОМАТЕРИАЛЫ

17.	Наноразмерные тонкие пленки или покрытия	<p>Пленки или покрытия на поверхности твердого тела, подложке, с толщиной в нанометровом диапазоне и/или с наноразмерной кристаллической структурой могут характеризоваться следующими параметрами:</p> <p>Толщина покрытия</p> <p>Неоднородность материала по толщине</p> <p>Химический состав покрытия</p> <p>Фазовый состав покрытия</p> <p>Химический состав поверхности</p> <p>Прочность сцепления с подложкой</p> <p>Пористость покрытия</p> <p>Микроструктура покрытия и интерфейса с подложкой</p> <p>Микротвердость покрытия</p> <p>Трещиностойкость покрытия</p> <p>Износостойкость покрытия</p> <p>Электропроводность покрытия</p> <p>Электрическая прочность покрытия</p>	<p>РЭМ, ВИМС</p> <p>РЭМ, ВИМС, ЭДРА</p> <p>ОЭС, ВИМС, ЭДРА</p> <p>РФА/РСА, АСМ-ФК</p> <p>РСА-УЛ</p> <p>ОЭС</p> <p>Адгезионные испытания</p> <p>РЭМ</p> <p>РЭМ, АСМ-ФК</p> <p>Инденитирование H_V</p> <p>Инденитирование H_V</p> <p>Инденитирование K_{1C}</p> <p>Импедансная спектроскопия</p> <p>Электрические испытания</p>
-----	---	---	--

НАНОМАТЕРИАЛЫ

18. Наночип



Schematic illustration of multi layer structure of small molecule based OLED

Интегрированная электронная, фотонная или жидкостная функциональная система с наномасштабными особенностями, формируемая на подложке. Может иметь как многослойную пленочную, так и поверхностно-распределенную наноструктуру. Наряду с общими характеристиками по п. 18, наночип может дополнительно характеризоваться:

Пространственные параметры многослойной или поверхностно-распределенной структуры

Эффективность преобразования или передачи энергии

Электрические параметры структур

Плотность излучаемого светового потока при оптимальной электролюминесценции

Спектральный состав излучаемого света

Пространственная диаграмма направленности излучения

РЭМ, АСМ-ФК, РФА/РСА, ВИМС, ЭДРА

Измерения ВАХ, светового потока

АСМ

Фотометрия

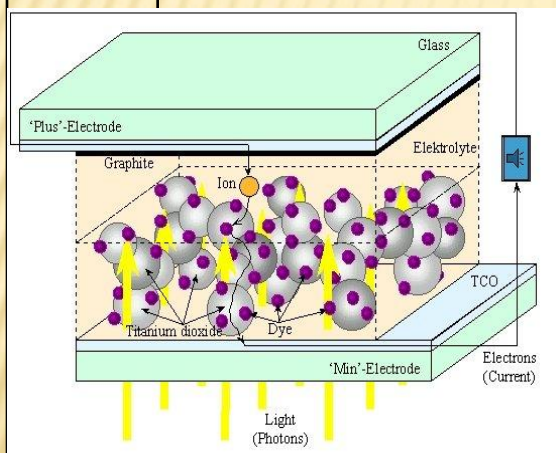
Спектрофотометрия

Фотометрия

пространственная

НАНОМАТЕРИАЛЫ

19. Электрод-электролитные наноразмерные структуры (ЭЭС)



Многофазная система, содержащая средний ион-проводящий слой и примыкающие к нему электрон-проводящие слои с наноразмерной и высокопористой структурой вблизи интерфейса электрод-электролит. Наномасштабные особенности интерфейса обеспечивают высокую эффективность топливных элементов, аккумуляторов и других электрохимических устройств. ЭЭС может характеризоваться следующими существенными параметрами:

Толщина слоев электролита и электродов

Неоднородность материала по толщине слоев

Фазовый и элементный состав слоев

Фазовый и элементный состав интерфейса электрод-электролит

Прочность сцепления электрод-электролит

Пористость электродных слоев, степень неоднородности пористости

Газоплотность электролита

Микроструктура электродов, электролита и интерфейса

Микротвердость электролита

Трещиностойкость электролита

Электропроводность электролита и электродов

Числа переноса слоя электролита

Средне-поверхностное сопротивление ЭЭС, вклады отдельных слоев

Вольт-амперные и мощностные характеристики ЭЭС для возможных рабочих режимов

Предельные плотности генерируемых токов для рабочих режимов ЭЭС

Стабильность рабочих режимов ЭЭС

РЭМ, АСМ

ЭДРА, ВИМС
РФА/РСА, АСМ-ФК,
ЭДРА

ЭДРА, ВИМС
Адгезионные испытания

РЭМ, АСМ, гидростатическое
взвешивание

Испытание на газо-
проницаемость

РЭМ, ЭДРА
Инденитирование H_V
Инденитирование K_{1C}

4-контактный метод,
импеданс-ная спектроскопия

Инденитирование H_V

Инденитирование K_{1C}

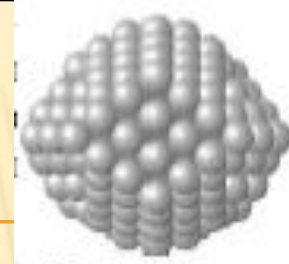
Импедансная спек-
троскопия,
испытания под рабочей
нагрузкой

Испытания под рабочей
нагрузкой

Ресурсные испытания под
рабочей нагрузкой

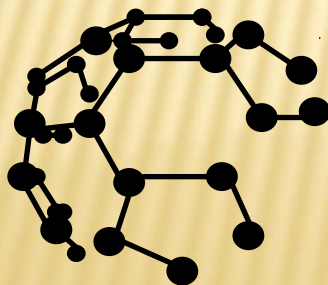
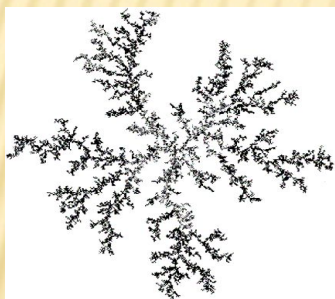
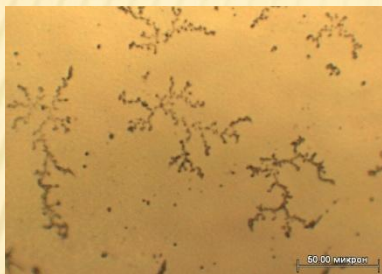


НАНОМАТЕРИАЛЫ



20.

Нанокластер



Ковалентно или не ковалентно связанная группа атомов или молекул, размер которой обычно лежит в диапазоне нескольких нанометров.

Общие характеристики нанокластеров:

Тип и структура составляющих кластеры атомов или молекул

Количество атомов или молекул в кластере

Форма кластера

Структура кластера

Средний размер кластера и их распределение по размерам

Химическая чистота, наличие примесных или легирующих атомов

Симметрия кластера

Степень агломерируемости кластеров

Люминесцентные характеристики нанокластеров

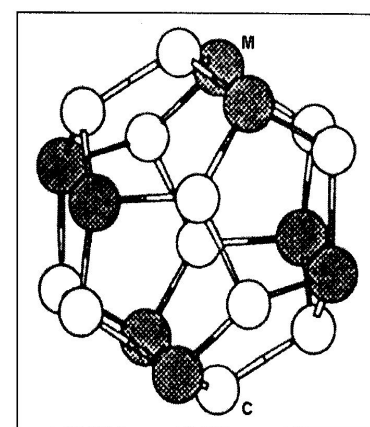
Фурье-ИК, РС, ВИМС, МУНР

Фурье-ИК, РС
ПЭМ

МУРРСИ, МУРР
ПЭМ

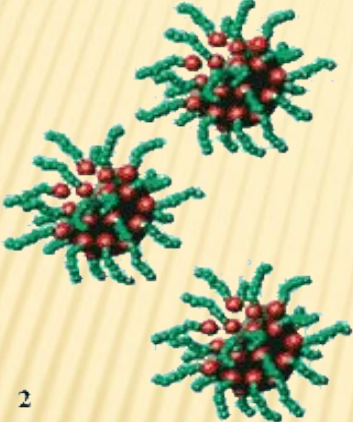
Фурье-ИК, МУНР
Фурье-ИК

ПЭМ, РЭМ
ФЛ, КЛ

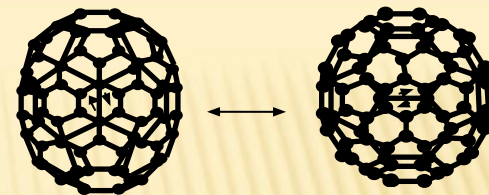


Молекула одного из наиболее простых металлоуглеродов M_8C_{12}

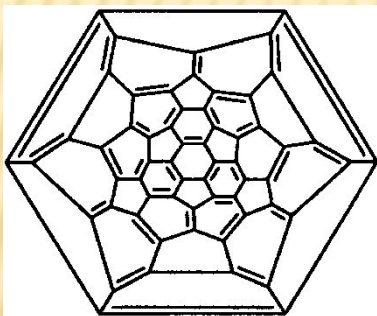
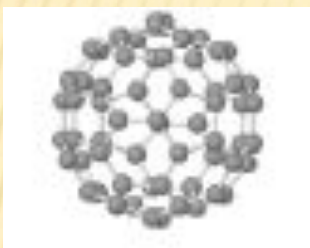
НАНОМАТЕРИАЛЫ

21.	Мицелла  2	<p>Агрегат из молекул поверхностно-активного вещества (ПАВ), диспергированных в жидкости.</p> <p><i>Молекулы ПАВ часто отделены внутри гидрофильных и гидрофоб-ных областей. Мицеллы обычно имеют форму сферы, однако могут быть также в форме стержней или червеподобными.</i></p> <p><u>Общие характеристики мицелл:</u></p> <p>Тип и структура составляющих мицеллу ПАВ</p> <p>Тип жидкости-растворителя</p> <p>Количество молекул ПАВ в мицелле</p> <p>Форма мицелл</p> <p>Структура мицелл</p> <p>Средний диаметр мицелл и их распределение по размерам</p> <p>Химическая чистота, наличие примесных или легирующих атомов</p> <p>Симметрия мицелл</p> <p>Степень агломерируемости</p>	<p>ГХ, Фурье-ИК, МУНР</p> <p>ГХ, ВИМС</p> <p>Фурье-ИК, МУНР</p> <p>ПЭМ, Фурье-ИК</p> <p>МУРРСИ, МУРР</p> <p>ПЭМ</p> <p>Фурье-ИК, МУНР</p> <p>ПЭМ</p> <p>ПЭМ, СКР, Метод ζ-потенциала</p>
-----	--	---	---

НАНОМАТЕРИАЛЫ



22. Фуллерен



Плотная закрытая структура, содержащая более 20 атомов углерода, состоящая полностью из углеродных атомов с тремя связями.

Фуллерен с 60 атомами углерода (C₆₀) имеет структуру поверхности футбольного мяча.

Общие характеристики фуллеренов:

Количество атомов углерода в фуллерене

Средний диаметр фуллерена

Химическая чистота, наличие примесных или легирующих атомов

Структурная чистота продукта – присутствие фуллеренов разного размера и других углеродных форм

Симметрия фуллеренов

Степень агломерируемости

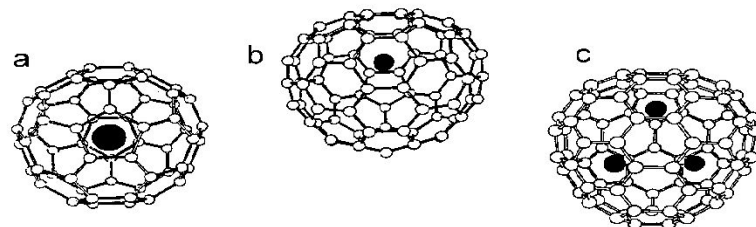
Функционализация поверхности

Фурье-ИК, РС
ПЭМ

ОЭС
Фурье-ИК, РС
РФА/РСА

ПЭМ

Фурье-ИК, РС



Перечень методов испытаний

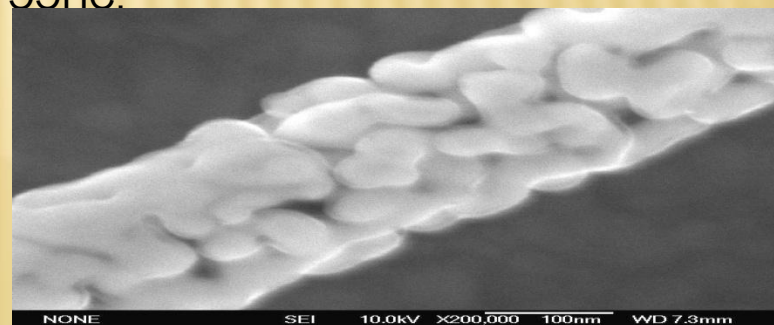
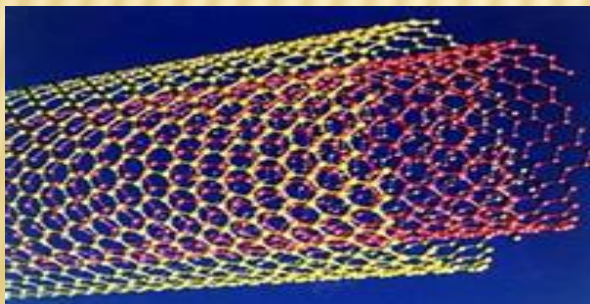
- АСМ – атомно-силовая микроскопия
- АСМ-ФК - атомно-силовая микроскопия в режиме фазового контраста
- РЭМ – растровая электронная микроскопия,
- ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия,
- ДРС – динамическое рассеяние света. (dynamic light scattering (DLS))
- НДРС – неполяризованное динамическое рассеяние света (de-polarized dynamic light scattering (DDLS))
- РС - Рамановская спектроскопия низкочастотных радиальных мод (the low-frequency radial breathing modes (RBMs))
- ТГА - Термогравиметрия (TGA)
- ГХ – газовая хроматография (Evolved Gas Analysis-Gas Chromatograph Mass Spectrometry (EGA-GCMS))
- РСА – рентгеноструктурный анализ (XRD; X-ray diffractometer)
- РФА – рентгенофазовый анализ (XRD; X-ray diffractometer)
- РСА-УЛ – уширение линий рентгеновской дифракции (x-ray diffraction line broadening (XRDLB))
- РФ - рентгеновский флуоресцентный анализ (XRF; X-ray fluorescence analysis)
- ИК-ФЛС – фотолюминесцентная спектроскопия (NIR-Photoluminescence (NIR-PL) spectroscopy)
- УФ-ИК спектроскопия поглощения (UV-vis-NIR absorption spectroscopy)
- ЭДРА – энерго-дисперсионный рентгеновский анализ (Energy Dispersive X-ray Analysis (EDX))
- РФЭС – рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (x-ray photoelectron spectroscopy (XPS))
- ФП – фотопроводимость (photoconductivity)
- МУРР - Малоугловое рентгеновское рассеяние (small angle x-ray scattering (SAXS))
- МУРРСИ - Малоугловое рентгеновское рассеяние синхротронного излучения (synchrotron radiation small angle x-ray scattering (SRSAXS))
- Фурье-ИК – Фурье ИК спектроскопия (fourier transform infrared spectroscopy (FTIR))
- ОЭС - Оже электронная спектроскопия (Auger electron spectroscopy (AES))
- ВИМС – вторичная ионная масс-спектрометрия (secondary-ion mass spectrometry (SIMS))
- ФЛ – Фотолюминесценция
- КЛ – катодолуминесценция

Перечень методов испытаний

- МУНР – малоугловое нейтронное рассеяние (small angle neutron scattering (SANS))
- Метод BET - Адсорбционный метод определения удельной площади поверхности BET analysis
- СКР – спектроскопия корреляционного рассеяния (Methods for determination of particle size distribution – Photon correlation spectroscopy)
 - Индентирование H_V - индентирование для определения микротвердости H_V
 - Индентирование K_{1C} - индентирование для определения трещиностойкости K_{1C}
 - Индентирование E - индентирование для определения упругого модуля E
 - Метод равновесного угла для определения текучести порошков.
 - Взвешивание стандартного объема для определения насыпной плотности.
 - Гидростатическое взвешивание – метод определения кажущейся плотности материала.
- Фотометрия проходящего света – определение доли прошедшего света по отношению падающему путем измерения светового потока.
 - Метод визуального сравнения цвета объекта с образцами для определения цвета.
- Метод ζ -потенциала – определение полярности и профиля потенциала в сравнении с потенциалом эталона.
 - Вискозиметрия – определение вязкости жидкости (суспензии) по ее текучести.
 - Метод pH – определение уровня кислотности жидкости.
 - Адсорбционная порометрия – по методу BET для размеров пор менее 500 нм
 - Ртутная порометрия.
- Испытания на разрыв стандартного образца для определения прочности и пластичности материала.
- Испытания на разрыв при повышенных температурах позволяют определить пределы термической стабильности механических свойств материала.
- Испытания на изгиб стандартного образца для определения прочности на изгиб хрупкого материала.
- Испытания на изгиб при повышенных температурах позволяют определить пределы термической стабильности механических свойств хрупкого материала.

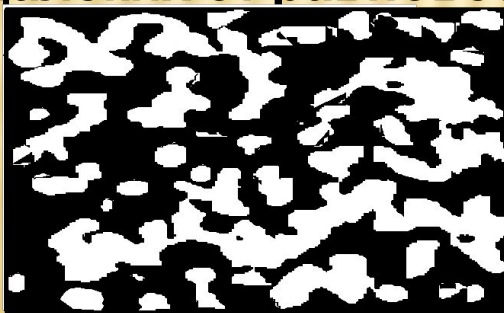
Перечень методов испытаний

- Испытания пар трения под нагрузкой - по схеме вал-втулка или палец-плоскость.
- 4-контактный метод – измерения электропроводности по падению напряжения между парой потенциальных контактов при пропусканию тока через пару внешних токовых контактов.
- Магнитометрия – метод измерения магнитных параметров материалов.
- Импедансная спектроскопия – метод комплексного исследования проводимости материалов и структур в широком диапазоне частот и значений проводимости.
- Электрические испытания – испытания стандартных образцов материала на пробой высоким электрическим полем.
- Адгезионные испытания – измерения силы адгезионного сцепления покрытия и подложки путем приложения контролируемого разрывающего усилия.
- Измерения ВАХ – методом импедансной спектроскопии.
- Измерение энергии светового потока, излучаемого структурой.
- Фотометрия – измерение интегрального светового потока с единицы площади структуры.
- Фотометрия пространственная - измерение светового потока с единицы площади структуры в различных направлениях.
- Спектрофотометрия – измерение спектрального состава излучения структуры.
- Испытание на газопроницаемость мембран состоит в определении возможных газовых потоков через мембрану, нагруженную перепадом давления газа.
- Ресурсные испытания и испытания под рабочей нагрузкой ЭЭНС.



ХАРАКТЕРНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ «НАНОМИРА»

- **высокая «полевая» (электрическая, магнитная) активность и «каталитическая» (химическая) избирательность поверхности ансамблей на основе наночастиц;**
- **появление нетрадиционных видов симметрии, особых видов сопряжения границ раздела и конформаций, в том числе, с динамически перестраиваемой структурой;**
- **особый характер протекания процессов передачи энергии, заряда и конформационных изменений, отличающихся низким энергопотреблением, высокой скоростью и носящих признаки кооперативного синергетического процесса;**
- **доминирование над процессами искусственного упорядочения явлений самоупорядочения и самоорганизации, отражающих проявление эффектов матричного копирования и особенностей синтеза в условиях далеких от равновесных.**



Продукция нанотехнологий

Продукцией нанотехнологий являются наноматериалы и наносистемы.

***Наноматериалы** – вещества и композиции веществ, представляющие собой искусственно или естественно упорядоченную или неупорядоченную систему базовых элементов с нанометрическими характеристическими размерами и особым проявлением физического и (или) химического взаимодействий при кооперации наноразмерных элементов, обеспечивающей возникновение у материалов и систем совокупности ранее неизвестных механических, химических, электрофизических, оптических, теплофизических и других свойств, определяемых проявлением наномасштабных факторов.*

***Наносистемы** – материальные объекты в виде упорядоченных или самоупорядоченных интегрированных элементов с нанометрическими характеристическими размерами, кооперация которых обеспечивает возникновение у объекта новых свойств, проявляющихся в виде квантово-размерных, синергетически-кооперативных, коллективных, «гигантских» эффектов, явлений и других процессов, связанных с проявлением наномасштабных факторов.*

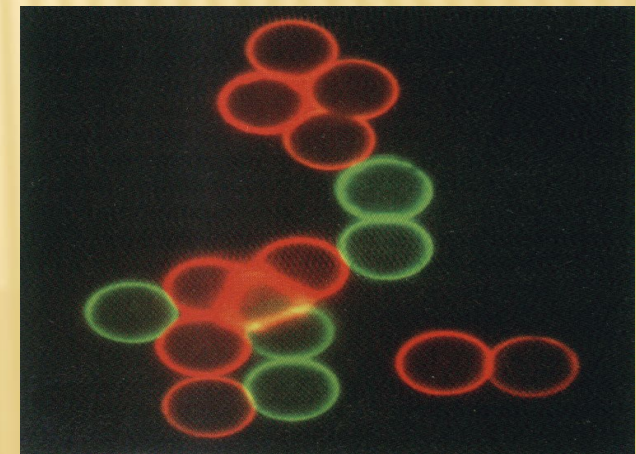
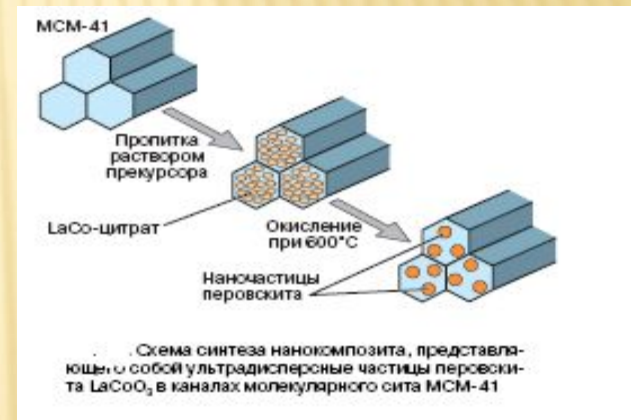
ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАНОУГРОЗ

В качестве возможных *причин возникновения наноугроз* следует особо выделить:

- **малые геометрические размеры наночастиц** и, как следствие, их высокая проникающая способность, реакционная и адсорбционная активность при отсутствии у человека, животных и растений эволюционно выработанных защитных механизмов противодействия;
- многообразие структуры и состава наночастиц и наноконпозиций и, как следствие, **сложность их идентификации и количественной характеристики;**
- развитие междисциплинарных исследований, стимулирующих создание конвергентных систем, основанных на искусственной интеграции объектов органической (в том числе, живой) и неорганической природы в ***отсутствии надежной информации о механизмах их взаимодействия и патогенных проявлениях***, в том числе, при длительной аккумуляции;
- экономически стимулированное резкое искусственное ускорение технологической эволюции в области процессов нанотехнологии, наноматериалов и производства продукции на их основе в ***отсутствии необходимой нанотехнологической культуры у разработчиков, производителей, органов сертификации и санитарно-эпидемиологического контроля;***
- новизна продукции nanoиндустрии при возможной высокой экономической эффективности финансовых вложений, что создает соблазн у определенной группы, как правило, «молодых» небольших компаний ***достижения быстрого результата без оценки риска и последствий;***
- малые массогабаритные и энергетические показатели ряда нанотехнологических процессов и ***возможность их «скрытой» реализации***, что стимулирует возникновение тенденций к ***использованию нанотехнологий и наноматериалов для реализации преднамеренных террористических проявлений.***

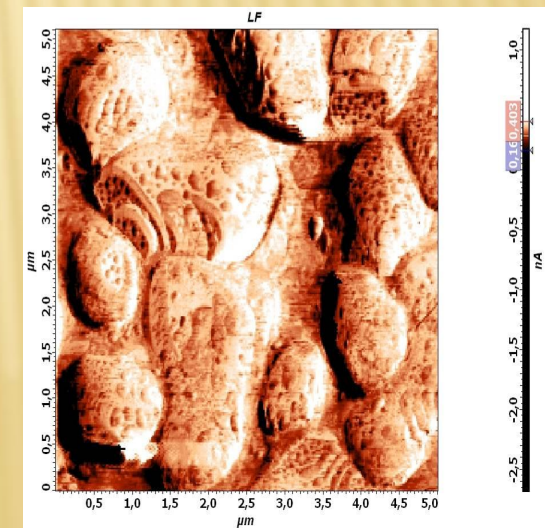
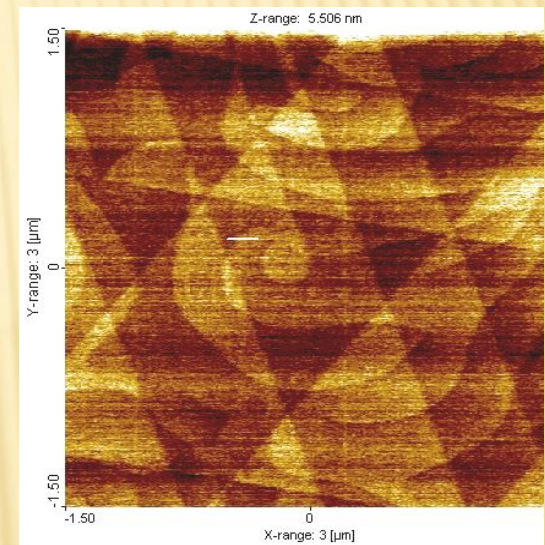
НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СФЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

- **Нанокпозиционные материалы с особой устойчивостью** к экстремальным факторам для термически, химически и радиационно-стойких конструкций
- **Нанокпозиционные материалы, обладающие «интеллектуальными» свойствами**, включая адаптивность и память
- **Специальные нанокпозиционные адаптивные материалы с низкой эффективной отражающей или сверхвысокой поглощающей способностью в СВЧ и оптическом диапазонах длин волн**
- **Специальные нанодисперсные материалы с максимально эффективным энергопоглощением и энергосвободением**, в том числе, импульсным
- **Биологически активные наночастицы** для nanoизбирательной биомаркировки, диагностики, фармакотерапии и генной инженерии



НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СФЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

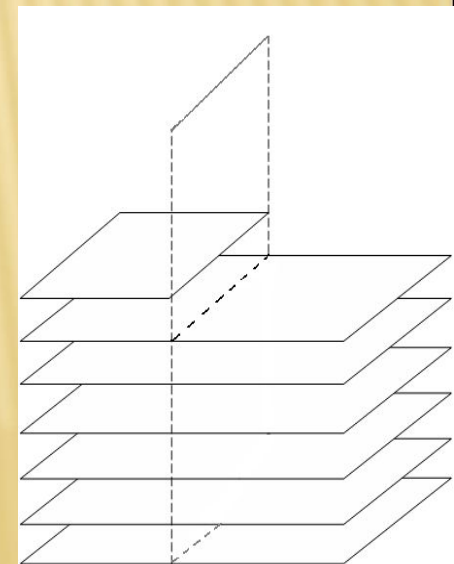
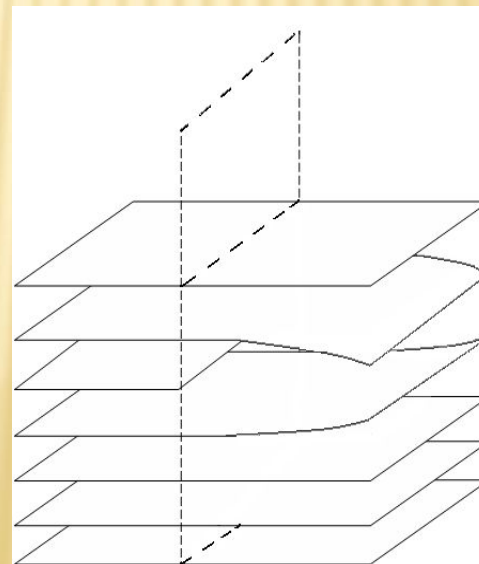
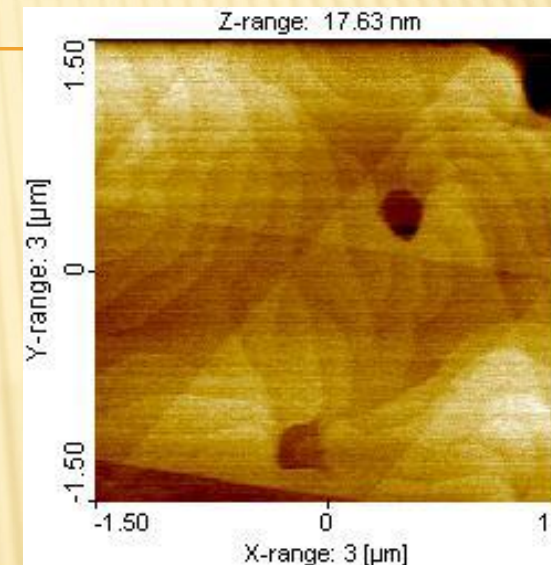
- Машиностроительные технологии для **механической, термомеханической и корпускулярной обработки с наноточностью**
- Зондовые, пучковые и корпускулярно-полевые технологии **нанослоевого синтеза, наноразмерного нанесения, удаления и модифицирования вещества**
- Биомедицинские технологии **наноизбирательной диагностики, фармакотерапии, генной инженерии и сверхлокальной инвазивной хирургии**



НАНОДИАГНОСТИКА ДЛЯ СФЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

- **Экспресс-методы и средства регистрации** электрических, оптических, магнитных, акустических и других видов полей наноразмерных объектов
- **Средства и методы метрологического обеспечения** для процессов производства, контроля и исследований наноразмерных объектов, нано - и пикоколичеств вещества

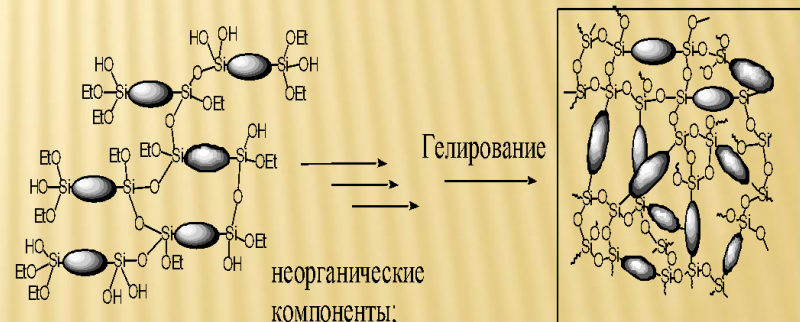
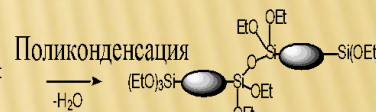
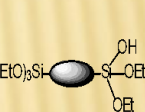
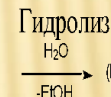
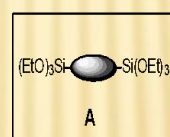
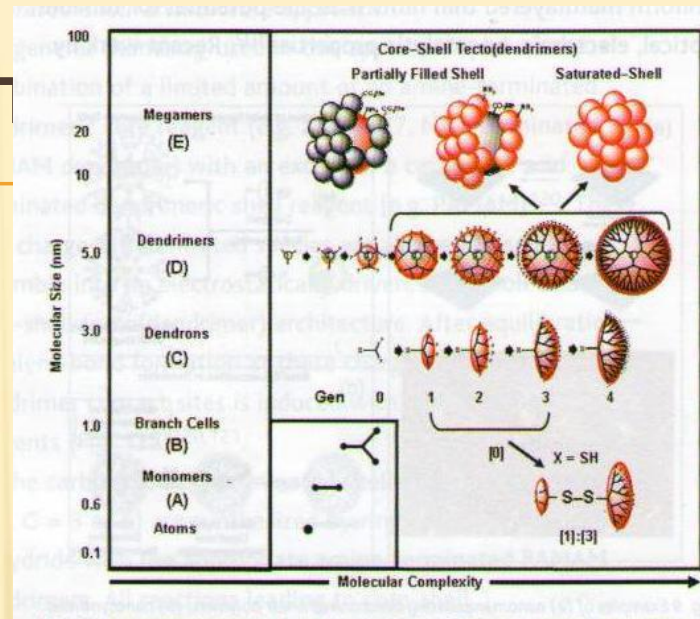
Специальные экспресс – методы и средства обнаружения и идентификации нано - и пикоколичеств био- и взрывоопасных веществ



НАНОСИСТЕМЫ И НАНОУСТРОЙСТВА

- **Нанохимические компоненты** (сорбенты, катализаторы, насосы, реакторы) для высокоскоростной очистки, избирательного сверхскоростного высокопроизводительного синтеза, атомно-молекулярной инженерии
- **Нанозлектронные компоненты** (элементная база) для сверхинтегрированных сверхмощных устройств нанозлектроники, сверхскоростных систем генерации, хранения, передачи и обработки информации
- **Нанооптические компоненты** (элементная база - излучатели, фотоприемники, преобразователи) для энергетически эффективной светотехники, систем сверхскоростной «сверхплотной» высокопомехозащищенной регистрации, передачи и обработки информации
- **Компоненты нано- и микросистемной техники** (электромеханические, оптомеханические, теплофизические, флюидные, биотехнические, биологические) для сверхминиатюрных высокочувствительных сенсорных, сверхточных исполнительных и микроэнергопотребляющих робототехнических устройств

Нано - и микроразмерные устройства для генерации, поглощения и аккумуляции электрической, световой, тепловой и механической

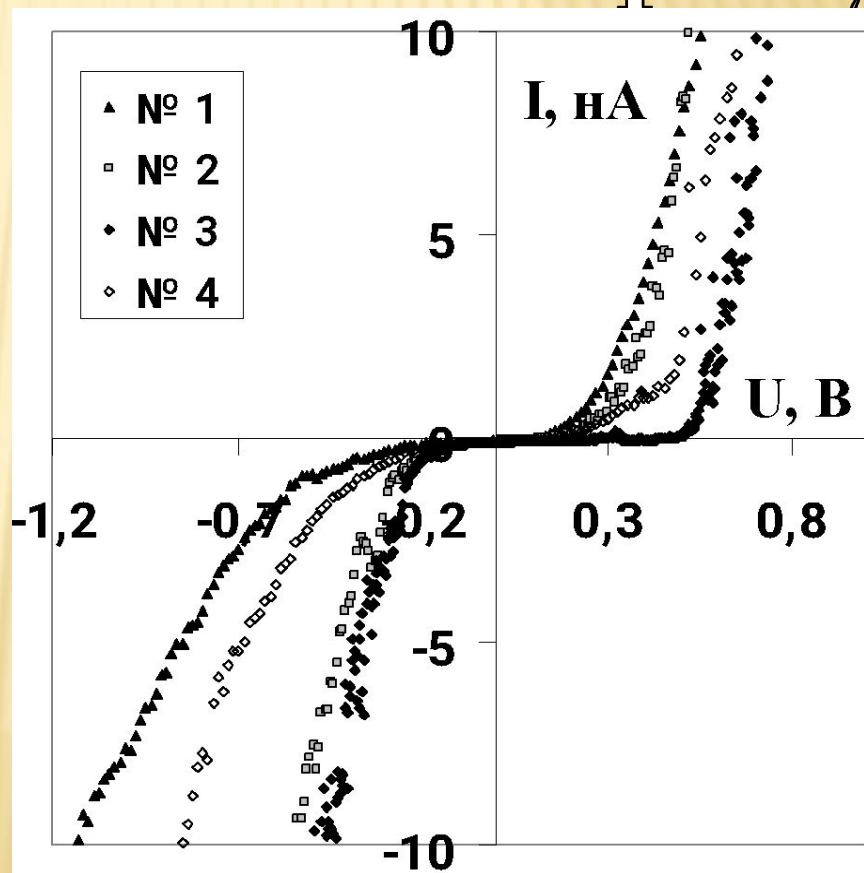
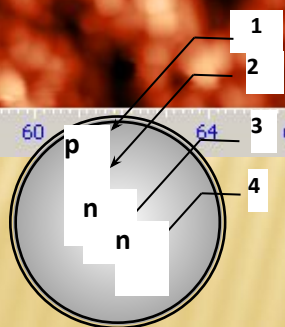
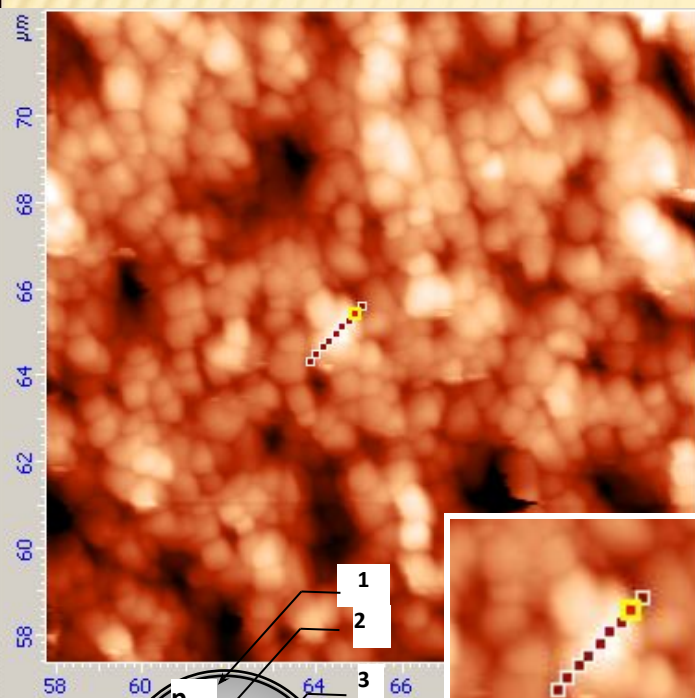


неорганические компоненты;
 ○ = органические компоненты; каталитически активные частицы, иммобилизованные в матрице

АСМ-ДИАГНОСТИКА

Травление слоя

Экспозиция на воздухе



НАУЧНЫЙ РУБРИКАТОР РАЗДЕЛ 1. ОБЪЕКТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К СФЕРЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ, ИХ СВОЙСТВА

1.1. Наноматериалы и их структура

1.1.1. Нульмерные наноструктуры

(Магнитные наноточки. Молекулярные нанокластеры .Нанокристаллы.
Другие наночастицы)

1.1.2. Линейные наноструктуры

(Нанопроволоки и нановолокна . Нанотрубки)

1.1.3. Двумерные наноструктуры

(Наноструктурированные и нанокомпозитные пленки . Нанопористые
поверхности . Наномембраны)

1.1.4.Трехмерные наноструктуры .

(Нанокомпозитные материалы (нанокерамика) . Нанопористые
материалы . Нанодисперсии (коллоиды)

1.1.5.Другие наноструктуры.

(Фрактальные наноструктуры . Бionаноматериалы и
биофункционализированные наноматериалы)

НАУЧНЫЙ РУБРИКАТОР РАЗДЕЛ 1. ОБЪЕКТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К СФЕРЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ, ИХ СВОЙСТВА

1.2. Свойства нанобъектов

- 1.2.1. Гидродинамика наножидкостей
- 1.2.2. Термические превращения наноструктур
- 1.2.3. Влияние среды на оптические свойства нанобъектов
- 1.2.4. Свойства облученных наноматериалов
- 1.2.5. Фазовые превращения в наноструктурных материалах

1.3. Взаимодействие наночастиц между собой и с другими объектами

- 1.3.1. Межчастичное взаимодействие в массивах наночастиц
- 1.3.2. Адсорбция и десорбция в нанотрубках
- 1.3.3. Капиллярные явления в нанотрубках
- 1.3.4. Взаимодействие наночастиц с пленками и поверхностями массивных твердых тел
- 1.3.5. Взаимодействие наночастиц с внешними полями
- 1.3.6. Механика наночастиц, перемещающихся под влиянием внешних воздействий
- 1.3.8. Взаимодействие наносистем со звуковыми и ультразвуковыми полями
- 1.3.9. Фотолюминесценция наноразмерных структур

НАУЧНЫЙ РУБРИКАТОР РАЗДЕЛ 1. ОБЪЕКТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К СФЕРЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ, ИХ СВОЙСТВА

1. 4. Математические модели естественных и технических наук в сфере нанотехнологий

- 1.4.1. Математические модели механики наноструктур и систем
- 1.4.2. Математические модели в нанооптике
- 1.4.3 Математические модели в наноэлектронике
- 1.4.3 Математические модели в нанобиологии
- 1.4.4. Математические модели в в термодинамике наноструктур
- 1.4.5. Математические модели в наноплазмонике
- 1.4.6. Математические модели квантовой физики и квантовой химии
- 1.4.7. Математические модели в наноинженерии
- 1.4.8. Математические модели физики и химии наноструктур и наноматериалов

РАЗДЕЛ 2. ПОЛУЧЕНИЕ, ДИАГНОСТИКА И СЕРТИФИКАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ

2.1. Методы нанесения элементов наноструктур и наноматериалов

2.1.1. Физические методы (лазерные, электронно-лучевые, ионно-плазменные) осаждения слоев нанометровых толщин:

- поликристаллических
- эпитаксиальных

2.1.2. Химическое, термическое и электродуговое осаждение из газовой фазы

- поликристаллические слои
- эпитаксиальные слои

2.1.3. Технология Лэнгмюра-Блоджетт

2.1.4. Химическое осаждение из растворов

2.1.5. Электроосаждение

2.1.6. Использование наноманипуляторов и зондов

2.1.7. Плазмохимическое, ионно- и электронно-лучевое модифицирование поверхности

2.1.8. Методы, основанные на специфических взаимодействиях биологических молекул.

РАЗДЕЛ 2. ПОЛУЧЕНИЕ, ДИАГНОСТИКА И СЕРТИФИКАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ

2.2. Управляемые методы формирования наноструктур

- 2.2.1. Оптическая литография субмикронного разрешения
- 2.2.2. Электронная литография
- 2.2.3. Рентгеновская литография
- 2.2.4. Наноимпринтинг и травление
- 2.2.5. Фокусированная ионная резка
- 2.2.6. Планиризация поверхности, полировка
- 2.2.7. Поверхностная иммобилизация (химическая пришивка) молекул
- 2.2.8. Локальные поверхностные химические реакции.
- 2.2.9. Нанокапсулирование
- 2.2.10. Иммобилизация мицелл и биологических нанообъектов

РАЗДЕЛ 2. ПОЛУЧЕНИЕ, ДИАГНОСТИКА И СЕРТИФИКАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ

2.3. Методы формирования наноматериалов

2.3.1. Золь-гель-технологии

2.3.2. Механохимия

2.3.3. Криохимия

2.3.4. Темплейтные техники в жидких средах (химическое и электроосаждение)

2.3.5. Электрофорез

2.3.6. Керамические методы (спекание, прессование, самораспространяющийся синтез и т.п.)

2.3.7. Формирование наноматериалов с использованием биологических систем и/или методов

2.3.8. Спрей-пиролиз

2.3.9. Методы формирования наноструктурированных металлических материалов

РАЗДЕЛ 2. ПОЛУЧЕНИЕ, ДИАГНОСТИКА И СЕРТИФИКАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ

2.4. Методы диагностики и исследования наноструктур и наноматериалов

- 2.4.1. Зондовые методы микроскопии и спектроскопии: атомно-силовая, сканирующая туннельная, магнитно-силовая и др.
- 2.4.2. Сканирующая электронная микроскопия.
- 2.4.3. Просвечивающая электронная микроскопия, в том числе высокого разрешения
- 2.4.4. Люминесцентная микроскопия
- 2.4.5. Дифракционные методы (рентгеновские, электронные, нейтронные)
- 2.4.6. Рентгеновская спектроскопия (XAS, EXAFS и др.)
- 2.4.7. Электронная спектроскопия
- 2.4.8. Наногравиметрия (QCN)
- 2.4.9. Магнитно-резонансные методы
- 2.4.10. Методы локального и нелокального (Auger, XPS) анализа поверхности.
- 2.4.11. Терагерцовая спектроскопия
- 2.4.12. Масс-спектрометрия
- 2.4.13. Нелинейно-оптические методы, в том числе рамановская спектроскопия.
- 2.4.14. Фемто- и наносекундная спектроскопия.
- 2.4.15. Биологические методы, основанные на амплификации

РАЗДЕЛ 2. ПОЛУЧЕНИЕ, ДИАГНОСТИКА И СЕРТИФИКАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ

2.5. Методы сертифицирования и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств

2.5.1. Порометрия и определение истинной поверхности

2.5.2. Оптический контроль (профилометрия, флуоресценция, эллипсометрия, конфокальная микроскопия)

2.5.3. Контроль физических свойств (резистометрия, магнитные измерения)

2.5.4. Тестирование функциональных свойств и их стабильности (указать: каталитических, деградационных, механических, трибологических, биологической активности и т.п.)

2.5.5. Аналитические методы (в том числе анализ поверхности)

2.5.6. Разработка нанометрологических принципов и методик

2.5.7. Контроль и тестирование биосовместимости и безопасности наноматериалов

РАЗДЕЛ 3. ПРОДУКТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

3.1. Функциональные наноматериалы

3.1.1. Катализаторы на носителях

3.1.2. Интеркаляционные материалы и твердые электролиты для химических источников тока, конденсаторов и т.д.

3.1.3. Сенсорные нанокompозиты

3.1.4. Водород-абсорбирующие наноматериалы (гидридообразующие интерметаллиды и аналоги)

3.1.5. Наноструктурированные металлы и сплавы с особыми механическими свойствами

3.1.6. Слоистые магнитные материалы и сверхрешетки

3.1.7. Наноструктурированные керамические и композиционные материалы и покрытия, в том числе оптически прозрачная нанокерамика; пьезо- и сегнето-нанокерамика; конструкционная нанокерамика, биосовместимая нанокерамика и покрытия, наноматериалы с заданными ядерно-физическими свойствами.

РАЗДЕЛ 3. ПРОДУКТЫ

НАНОТЕХНОЛОГИЙ

3.2. Высокодисперсные, высокопористые и другие традиционные материалы, включающие субмикронные фрагменты

3.2.1. Сорбенты на основе коллоидных систем

3.2.2. Углеродные материалы

3.2.3. Наноструктурированные полимеры, волокна и композиты на их основе

3.2.4. Другие пористые материалы, в том числе фильтры.

3.3. Наноэлектроника: физические принципы и объекты новой цифровой наноэлектроники

3.3.1. Полупроводниковые наногетероструктуры (квантовые точки и квантовые проволоки на основе двумерного электронного газа)

3.3.2. Низкоразмерные углеродные структуры (нанотрубки, графен, фуллерены)

3.3.3. Нанотрубки и двумерные слои на основе неуглеродных материалов.

3.3.4. Спинтронные устройства (на основе магнитных и немагнитных гетероструктур)

3.3.5. Кριοэлектроника и флюксонные устройства на основе сверхпроводящих (джозефсоновских) наноструктур

3.3.6. Одноэлектронные устройства (SET - транзисторы, нано-электрометры, микрокулеры, болометры)

РАЗДЕЛ 3. ПРОДУКТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

3.4. Объекты для квантовых вычислений и квантовых телекоммуникаций

- 3.4.1. Сверхпроводниковые квантовые логические устройства (кубиты)
- 3.4.2. Кубиты на основе электронных спинов в квантовых точках и фуллеренах
- 3.4.3. Кубиты на основе электромагнитных ловушек для атомов и ионов
- 3.4.4. Одноэлектронные (зарядовые) кубиты
- 3.4.5. Считывающие и интерфейсные устройства к кубитам
- 3.4.6. Устройства для квантовой криптографии

РАЗДЕЛ 3. ПРОДУКТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

3.5. Нанoeлектронные источники и детекторы

- 3.5.1. Светодиоды на основе полупроводниковых гетероструктур
- 3.5.2. Органические светодиоды
- 3.5.3. Твердотельные и органические лазеры
- 3.5.4. Элементы солнечной энергетики
- 3.5.5. Полупроводниковые и сверхпроводниковые однофотонные детекторы, матричные детекторы электромагнитных сигналов, тепловизоры высокого разрешения
- 3.5.6. Полупроводниковые и сверхпроводниковые источники и детекторы терагерцового диапазона
- 3.5.7. Электронные эмиттеры на основе нанотрубок и других нано-объектов
- 3.5.8. Детекторы и стандарты электромагнитных сигналов; эталоны тока, напряжения, сопротивления на основе сеток наноэлементов.
- 3.5.9. Сверхчувствительные магнитные детекторы на основе SQUID
- 3.5.10. Сверхчувствительные SET-электрометры
- 3.5.11. Квантовые электронные насосы

РАЗДЕЛ 3. ПРОДУКТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

3.6. Нанопотоника и коротковолновая нелинейная оптика

- 3.6.1. Нанообъекты и устройства ближнепольной оптики
- 3.6.2. Нелинейные оптические преобразователи и волноводы
- 3.6.3. Рентгеновские линзы
- 3.6.4. Фотонные кристаллы
- 3.6.5. Искусственные среды с отрицательным коэффициентом преломления (метаматериалы)

3.7. Сенсоры на основе наноструктур и наноматериалов

- 3.7.1. Резистометрические газовые сенсоры на основе нанокристаллических материалов
- 3.7.2. Ферментные сенсоры и другие биосенсоры
- 3.7.3. Сенсоры на основе каталитических и электрокаталитических процессов
- 3.7.4. Оптические сенсоры
- 3.7.5. Молекулярное распознавание с применением наноматериалов.

РАЗДЕЛ 3. ПРОДУКТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

3.8. Бионанотехнологии

3.8.1. Выделение и иммобилизация биологических веществ с применением наноматериалов

3.8.2. Диагностические методы с применением фиксированных наноструктур

3.9. Наномедицина и диагностика

3.9.1. Лекарственные наноматериалы

3.9.2. Биомиметические наноматериалы, биосовместимые имплантаты

3.9.3. Вакцины на наноплатформах

3.9.4. Диагностические методы на микро(нано)флюидной основе

3.9.5. Нанокapsулирование лекарственных препаратов

3.9.6. Использование наноструктур в местных химпрепаратах (например, в косметике или кремах от загара и т.д)

3.9.7 Адресная доставка лекарств

РАЗДЕЛ 3. ПРОДУКТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

3.9. Наномедицина и диагностика (продолжение)

3.9.8. Механическое удаление засорений (закупорок)

3.9.9. Усиление клетки или ткани (прочность)

3.9.10. Уничтожение раковых клеток

3.9.11. Инженерия живых тканей и регенеративная медицина

3.10. Микро- и нано-механика, нанотрибология и нанофлюидика

3.10.1. Микромеханические системы, наноприводы, наноманипуляторы

3.10.2. Микро(нано)электромеханические системы (MEMS/NEMS)

3.10.3. Нанофлюидные теплоносители

3.10.4. Молекулярные моторы

3.11. Оборудование для опытного выпуска продукции в сфере наноиндустрии

3.12. Оборудование для промышленного выпуска продукции в сфере наноиндустрии.

**Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

