

**Нанорубрикатор (научный классификатор)**  
для экспертной работы, связанной с инвестиционными и  
образовательными проектами в сфере наноиндустрии

**Версия 7 (16.02.2012)**

Раздел 1. Объекты, относящиеся к сфере нанотехнологий  
(для предварительного отбора потенциальных экспертов и проектов)

1.01. Искусственные (синтетические) низкоразмерные объекты – элементы наноструктур и наноматериалов (элементами являются однородные по составу объекты с характерными размерами менее ~0.1 мкм в одном или более измерениях, если их свойства или свойства включающих их материалов (структур) существенно отличаются от свойств более крупных объектов того же состава).

1.01.01. Нанокристаллы и наночастицы.

1.01.02. Нанотрубки и нанопроволоки.

1.01.03. Двумерные нанообъекты с характерными размерами несколько нанометров.

1.02. Наноструктуры – комбинации элементов (п.1.1), для которых наблюдаемые физические свойства (отклики) непосредственно определяются размерно-зависимыми свойствами элементов.

1.02.01. Упорядоченные ансамбли (многослойные и многополосные структуры и сетки) одинаковых твердых элементов на подложках.

1.02.02. Твердотельные гибридные и гетероструктуры на основе полупроводников, металлов и магнетиков (наноструктуры могут состоять и из естественных кристаллов).

1.02.03. Элементы или наборы элементов, контролируемо модифицированные функциональными молекулами, мицеллами или биологическими объектами субмикронных размеров.

1.03. Наноматериалы – полностью или частично состоящие из элементов (п.1.1) твердые или жидкие материалы, для которых какие-либо макроскопические свойства определяются размерами и/или взаимным расположением элементов.

1.03.01. Наночастицы в твердых, полимерных или жидкокристаллических матрицах.

1.03.02. Наночастицы на подложках.

1.03.03. Нанокapsулы.

1.03.04. Слоистые материалы с характерными размерами фрагментов порядка постоянной решетки.

1.03.05. Суперкристаллы на основе высокоупорядоченных наноэлементов.

1.03.06. Нанокристаллические композиции (керамики, специальные сплавы и т.п.).

1.03.07. Гранулированные наноразмерные материалы (в т.ч. т.н. «нанопорошки»).

1.03.08. Объекты традиционных технологий (нанопористые материалы, золи, гели, эмульсии, наногетерогенные полимеры и т.п.).

1.03.09. Бионаноматериалы и биофункционализированные наноматериалы.

1.03.10. Нановолокна.

## Раздел 2. Получение, диагностика и сертификация наноразмерных систем

### 2.01. Методы нанесения элементов наноструктур и наноматериалов.

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

- (a) поликристаллических;
- (b) эпитаксиальных.

2.01.02. Химическое, термическое и электродуговое осаждение из газовой фазы (в том числе CVD, EVD, MoCVD, PVD и аналоги):

- (a) поликристаллические слои;
- (b) эпитаксиальные слои.

2.01.03. Технология Лэнгмюра-Блоджетт.

2.01.04. Химическое осаждение из растворов.

2.01.05. Электроосаждение (нанесение гальванических покрытий).

2.01.06. Использование наноманипуляторов и зондов.

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

2.01.08. Методы, основанные на специфических взаимодействиях биологических молекул.

### 2.02. Управляемые методы формирования наноструктур.

2.02.01. Оптическая литография субмикронного разрешения.

2.02.02. Электронная литография.

2.02.03. Рентгеновская литография.

2.02.04. Наноимпринтинг и травление, анодирование

2.02.05. Фокусированная ионная резка.

2.02.06. Планиризация поверхности, полировка.

2.02.07. Поверхностная иммобилизация (химическая пришивка) молекул.

2.02.08. Локальные поверхностные химические реакции.

2.02.09. Нанокapsулирование.

2.02.10. Иммобилизация мицелл и биологических нанообъектов.

### 2.03. Методы формирования наноматериалов.

2.03.01. Золь-гель-технологии.

2.03.02. Механохимия.

2.03.03. Криохимия.

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

2.03.05. Электрофорез.

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

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

2.03.08. Спрей-пиролиз.

2.03.09. Вытягивание волокон.

2.03.10. Плазменные методы (электродуговой разряд, тлеющий разряд и т.д.).

2.03.11. Методы с использованием высокого давления.

2.03.12. Анодирование и травление.

2.03.13. Механическая обработка (резка, шлифовка, точение и т.п.).

2.03.14. Радиационно-химические методы модифицирования материалов.

- 2.04. Методы диагностики и исследования наноструктур и наноматериалов.
- 2.04.01. Зондовые методы микроскопии и спектроскопии: атомно-силовая, сканирующая туннельная, магнитно-силовая и др.
  - 2.04.02. Сканирующая (растровая) электронная микроскопия и локальный анализ в конфигурации электронного микроскопа.
  - 2.04.03. Просвечивающая электронная микроскопия, в том числе высокого разрешения.
  - 2.04.04. Люминесцентная микроскопия.
  - 2.04.05. Дифракционные методы (рентгеновские, электронные, нейтронные).
  - 2.04.06. Рентгеновская спектроскопия (XAS, EXAFS и др.).
  - 2.04.07. Электронная спектроскопия поглощения и люминесцентные методы.
  - 2.04.08. Наногравиметрия (QCN).
  - 2.04.09. Магнитно-резонансные методы.
  - 2.04.10. Методы локального и нелокального (Auger, XPS, SIMS) анализа поверхности.
  - 2.04.11. Терагерцовая спектроскопия.
  - 2.04.12. Масс-спектрометрия.
  - 2.04.13. Нелинейно-оптические методы, в том числе рамановская спектроскопия.
  - 2.04.14. Фемто- и наносекундная спектроскопия.
  - 2.04.15. Биологические методы, основанные на амплификации.
  - 2.04.16. Оптические методы исследования свойств наноструктур и наноматериалов.
  - 2.04.17. Адсорбционные методы исследования хорошо охарактеризованных высокодисперсных и пористых материалов.

- 2.05. Методы сертифицирования и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств.
- 2.05.01. Порометрия и определение удельной поверхности.
  - 2.05.02. Оптический контроль (профилометрия, флуоресценция, эллипсометрия, конфокальная микроскопия).
  - 2.05.03. Контроль физических свойств (резистометрия, магнитные измерения).
  - 2.05.04. Светорассеяние, гранулометрия.
  - 2.05.05. Тестирование функциональных свойств и их стабильности (указать свойства по набору ключевых слов А).
  - 2.05.06. Аналитические методы (в том числе анализ поверхности).
  - 2.05.07. Разработка нанометрологических принципов и методик.
  - 2.05.08. Контроль и тестирование биосовместимости и безопасности наноматериалов.
  - 2.05.09. Термический анализ (включая калориметрию и термогравиметрию).

### Раздел 3. Продукты нанотехнологий.

- 3.01. Функциональные наноматериалы.
  - 3.01.01. Катализаторы на носителях.
  - 3.01.02. Интеркаляционные материалы и твердые электролиты для химических источников тока, конденсаторов и т.д.
  - 3.01.03. Неорганические композиты и наночастицы для сенсоров и молекулярного распознавания.
  - 3.01.04. Водород-абсорбирующие наноматериалы (гидридообразующие интерметаллиды и аналоги).

- 3.01.05. Наноструктурированные металлы и сплавы с особыми механическими свойствами.
  - 3.01.06. Слоистые магнитные материалы и сверхрешетки, другие магнитные материалы
  - 3.01.07. Наноструктурированные керамические и композиционные материалы и покрытия (указать назначение по набору ключевых слов В).
- 3.02. Высокодисперсные, высокопористые и другие традиционные материалы, включающие субмикронные фрагменты.
- 3.02.01. Сорбенты и «чернила» на основе коллоидных систем.
  - 3.02.02. Углеродные материалы.
  - 3.02.03. Наноструктурированные полимеры, волокна и композиты на их основе.
  - 3.02.04. Другие пористые материалы, в том числе фильтры и мембраны.
- 3.03. Нанoeлектроника: физические принципы и объекты новой цифровой наноэлектроники.
- 3.03.01. Полупроводниковые наногетероструктуры (квантовые точки, квантовые проволоки и другие гетероструктуры на основе двумерного электронного газа).
  - 3.03.02. Низкоразмерные углеродные структуры (нанотрубки, графен, фуллерены).
  - 3.03.03. Нанотрубки и двумерные слои на основе неуглеродных материалов.
  - 3.03.04. Спинтроника и устройства (на основе магнитных и немагнитных гетероструктур).
  - 3.03.05. Кривозлектроника и флюксонные устройства на основе сверхпроводящих (джозефсоновских) наноструктур.
  - 3.03.06. Одноэлектронные устройства (SET - транзисторы, нано-электрометры, микрокулеры, болометры).
  - 3.03.07. Элементная база электроники на основе органических материалов.
- 3.04. Объекты для квантовых вычислений и квантовых телекоммуникаций.
- 3.04.01. Сверхпроводниковые квантовые логические устройства (кубиты).
  - 3.04.02. Кубиты на основе электронных спинов в квантовых точках и фуллеренах.
  - 3.04.03. Кубиты на основе электромагнитных ловушек для атомов и ионов.
  - 3.04.04. Одноэлектронные (зарядовые) кубиты.
  - 3.04.05. Считывающие и интерфейсные устройства к кубитам.
  - 3.04.06. Устройства для квантовой криптографии.
- 3.05. Нанoeлектронные источники и детекторы
- 3.05.01. Светодиоды на основе полупроводниковых гетероструктур.
  - 3.05.02. Органические светодиоды.
  - 3.05.03. Твердотельные и органические лазеры.
  - 3.05.04. Элементы солнечной энергетики.
  - 3.05.05. Полупроводниковые и сверхпроводниковые однофотонные детекторы, матричные детекторы электромагнитных сигналов, тепловизоры высокого разрешения и другие высокочувствительные оптические детекторы.
  - 3.05.06. Полупроводниковые и сверхпроводниковые источники и детекторы терагерцового диапазона.
  - 3.05.07. Электронные эмиттеры на основе нанотрубок и других нано-объектов.
  - 3.05.08. Детекторы и стандарты электромагнитных сигналов; эталоны тока, напряжения, сопротивления на основе сеток наноэлементов.

- 3.05.09. Сверхчувствительные магнитные детекторы на основе SQUID.
- 3.05.10. Сверхчувствительные SET-электрометры.
- 3.05.11. Квантовые электронные насосы.
- 3.06. Нанопотоника и коротковолновая нелинейная оптика.
  - 3.06.01. Нанообъекты и устройства ближкопольной оптики.
  - 3.06.02. Нелинейные оптические преобразователи и волноводы.
  - 3.06.03. Рентгеновские линзы.
  - 3.06.04. Фотонные кристаллы.
  - 3.06.05. Искусственные среды с отрицательным коэффициентом преломления и другие метаматериалы.
  - 3.06.06. Квантовые микрорезонаторы.
- 3.07. Сенсоры на основе наноструктур и наноматериалов.
  - 3.07.01. Резистометрические газовые сенсоры на основе нанокристаллических материалов.
  - 3.07.02. Ферментные сенсоры и другие биосенсоры.
  - 3.07.03. Сенсоры на основе каталитических и электрокаталитических процессов.
  - 3.07.04. Оптические сенсоры.
  - 3.07.05. Молекулярное распознавание с применением наноматериалов.
- 3.08. Бионанотехнологии.
  - 3.08.01. Выделение и иммобилизация биологических веществ с применением наноматериалов.
  - 3.08.02. Диагностические методы с применением фиксированных наноструктур.
- 3.09. Наноматериалы для медицины и диагностики.
  - 3.09.01. Лекарственные наноматериалы.
  - 3.09.02. Биомиметические наноматериалы.
  - 3.09.03. Вакцины на наноплатформах.
  - 3.09.04. Диагностические методы на микро(нано)флюидной основе.
  - 3.09.05. Нанокapsулирование лекарственных препаратов.
  - 3.09.06. Разветвленные полимерные наночастицы: дендримеры, сверхразветвленные полимеры, полимерные звезды, мицеллы на основе сополимеров, образуемые ими комплексы.
- 3.10. Микро- и нано-механика, нанотрибология и нанофлюидика
  - 3.10.01. Микромеханические системы, наноприводы, наноманипуляторы.
  - 3.10.02. Микро(нано) электромеханические системы (MEMS/NEMS).
  - 3.10.03. Нанофлюидные теплоносители.
  - 3.10.04. Молекулярные моторы.

Раздел 4. Вспомогательный (*создан для описания тематик фактически проинвестированных Роснано проектов, не относящихся непосредственно или вообще не относящихся к сфере нанотехнологий*). Возможны дополнения.

- 4.01. Материалы и комплектующие
  - 4.01.01. Кремний поликристаллический.
  - 4.01.02. Кремний монокристаллический.

- 4.01.03. Кремний аморфный.
  - 4.01.04. Диэлектрические материалы (нитрид бора, ниобат стронция, титанат бария и т.п.).
  - 4.01.05. Кварц, стекло.
  - 4.01.06. Сапфир.
  - 4.01.07. Металлы.
  - 4.01.08. Германий.
- 4.02. Молекулярные компоненты.
- 4.02.01. Люминесцирующие молекулы и красители.
  - 4.02.02. Связующие, пластификаторы.
  - 4.02.03. Молекулярные реагенты для технологий материалов и других рутинных прикладных задач (например, трихлорсилан для производства кремния, средства защиты растений и т.п. ).
  - 4.02.04. Молекулярные кристаллы (например, молекулярные магниты).
  - 4.02.05. Макромолекулы (полимеры и «супрамолекулярные» образования), полимерные пленки микронных и более толщин.
  - 4.02.06. Биологические молекулы.
- 4.03. Интегральные микросхемы и технологическое моделирование. Создание производств.
- 4.04. Инфраструктура.
- 4.04.01. Организация снабжения сырьем и комплектующими.
  - 4.04.02. Безопасность в помещениях, охрана труда и окружающей среды.
  - 4.04.03. Вспомогательное оборудование.
  - 4.04.04. Переработка отходов.

## Раздел 5. Образовательный

*Для учебных дисциплин в программах подготовки кадров для  
наноиндустрии* [с указанием кодов научных классификаторов  
<http://experts.itp.ac.ru/science/about>] – раздел в стадии доработки

- 5.01. Общеобразовательные курсы (для бакалавриата и послевузовского образования).
- 5.01.01. Математические дисциплины (включая матфизику и прикладную математику) [02].
  - 5.01.02. Статистическая физика и кинетика (дополнительные главы) [05].
  - 5.01.03. Квантовая механика (дополнительные главы).
  - 5.01.04. Электродинамика сплошных сред.
  - 5.01.05. Молекулярное моделирование (включая квантовую химию).
  - 5.01.06. Биофизика.
- 5.02. Физические основы нанотехнологических процессов и метрологии.
- 5.02.01. Электронная, ионная и рентгеновская оптика [41, 42].
  - 5.02.02. Столкновения и взаимодействия атомов и молекул в газовой фазе [34].
  - 5.02.03. Процессы в низкотемпературной плазме и газовом разряде, взаимодействие плазмы с твердым телом [54].
  - 5.02.04. Рентгеновская и нейтронная дифракция (физические основы методов).
  - 5.02.05. Электронная дифракция и электронная микроскопия (физические основы методов).

- 5.02.06. Зондовая микроскопия и спектроскопия (физические основы методов).
  - 5.02.07. Методы исследования поверхности (Auger, XPS, UPS, SIMS) (физические основы методов).
  - 5.02.08. Нуклеационные явления.
- 5.03. Химические и физико-химические основы нанотехнологических процессов.
- 5.03.01. Химические реакции в твердой фазе [2032].
  - 5.03.02. Процессы полимеризации и поликонденсации [2061].
  - 5.03.03. Криохимические процессы [2081].
  - 5.03.04. Кинетика химических процессов в жидкостях и стеклах [2082].
  - 5.03.05. Стабилизация малых частиц и тонких пленок (коллоидная химия), самоорганизация в низкоразмерных системах [2091, 2094].
  - 5.03.06. Электрокинетические явления [2092].
  - 5.03.07. Электрокристаллизация и электроосаждение [2115].
  - 5.03.08. Фотохимические и фотокаталитические процессы [2122, 2123].
  - 5.03.09. Радиационно-химические процессы [2124].
- 5.04. Физика твердого тела (в связи с принципами работы устройств – продуктов нанотехнологий).
- 5.04.01. Фазовые равновесия и фазовые переходы [64].
  - 5.04.02. Электронная структура твердых тел [71].
  - 5.04.03. Электронный транспорт в твердых телах [72].
  - 5.04.04. Электронная структура тонких низкоразмерных систем и поверхности твердых тел [73].
  - 5.04.05. Сверхпроводимость [74].
  - 5.04.06. Магнитные свойства твердых тел [75].
  - 5.04.07. Ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонанс, эффект Мёссбауэра [76].
  - 5.04.08. Диэлектрики, пьезо- и сегнетоэлектрики [77].
  - 5.04.09. Электронная и ионная эмиссия из твердых тел [79].
  - 5.04.10. Ионный транспорт в твердых телах [66].
- 5.05. Оптика и плазмоника (в связи с принципами работы высокотехнологичных оптических устройств).
- 5.05.01. Электронная структура атомов и молекул, их взаимодействия с фотонами, фотохимические процессы [31, 32, 33, 2121].
  - 5.05.02. Оптические свойства твердых тел [78].
  - 5.05.03. Люминесценция и люминесцентная спектроскопия.
  - 5.05.04. Терагерцовая генерация и спектроскопия.
  - 5.05.05. Нелинейно-оптические явления.
- 5.06. Дисциплины, связанные с ключевыми функциональными свойствами наноматериалов [см. также в 5.4 и 5.5].
- 5.06.01. Структура твердых тел, кристаллохимия и кристаллография, фазовые диаграммы [61, 2033, 2034].
  - 5.06.02. Структура жидкости [61].
  - 5.06.03. Механические и акустические свойства конденсированных сред [43, 45, 46, 62].
  - 5.06.04. Гидродинамика, реология, макрокинетика в жидких и неупорядоченных средах [47, 83, 2083, 2093, 2114].
  - 5.06.05. Термические свойства конденсированных сред [44, 65].

- 5.06.06. Ионный транспорт в конденсированных средах, интеркаляция [2035, 2116].
  - 5.06.07. Химическое преобразование и хранение энергии [84].
  - 5.06.08. Строение и свойства полимеров и их растворов [2063, 2064].
  - 5.06.09. Адсорбция из газовой фазы и жидкости [2101, 2111].
  - 5.06.10. Каталитические процессы [2102, 2103].
- 5.07. Инженерно-технические дисциплины.
- 5.07.01. Технологии радио- и микроволновых устройств [84].
  - 5.07.02. Технологии традиционной микро- и оптоэлектроники [84, 85].
  - 5.07.03. Технологии магнитных устройств [85].
- 5.08. Популяризация.
- 5.08.01. Для школьников и студентов младших курсов.
  - 5.08.02. Для студентов широкой специализации.
  - 5.08.03. Для внепрофильной взрослой аудитории.
  - 5.08.04. Для специалистов родственных областей.

### **Списки ключевых слов для детализации сведений о функциональных материалах. В стадии доработки.**

А. Функциональные свойства материалов – тестирование, к коду 2.05.05:

- адгезия
- биологическая активность
- износостойкость
- каталитическая активность и селективность
- коррозионная стойкость
- магнитные
- ползучесть
- радиационная стабильность
- твердость
- теплофизические
- термоустойчивость
- трибологические
- ударостойкость
- электрофизические

В. Функциональные свойства материалов и покрытий – назначение, к коду 3.01.07:

- биосовместимые материалы
- конструкционные материалы
- коррозионно-стойкие материалы
- оптически прозрачная керамика
- пьезокерамика
- режущие (особо твердые) материалы
- сегнетокерамика
- для ядерно-физических приложений

*Нанорубрикатор впервые составлен в 2008 г.*

*В декабре 2011 – феврале 2012 исправлен и дополнен на основании анализа материалов инвестиционных и образовательных проектов ОАО Роснано.*