

# Нанотехнологии

Кабачкова Надежда Вячеславовна  
кандидат с.-х. наук,  
доцент кафедры земледелия и растениеводства

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ТЕРМИНОЛОГИЯ: *НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ*

К наноматериалам условно относят дисперсные и массивные материалы, содержащие структурные элементы (зерна, кристаллиты, блоки, кластеры и т.п.), геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми функциональными и эксплуатационными характеристиками.

К нанотехнологиям можно отнести технологии, обеспечивающие возможность контролируемым образом создавать и модифицировать наноматериалы, а также осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

**Среди основных составляющих науки о наноматериалах и нанотехнологиях можно выделить следующие:**

- фундаментальные исследования свойств материалов на наномасштабном уровне;
- развитие нанотехнологий для целенаправленного создания наноматериалов, а также поиска и использования природных объектов с наноструктурными элементами;
- создание готовых изделий с использованием наноматериалов и интеграция наноматериалов и нанотехнологий в различные отрасли промышленности и науки;
  - развитие средств и методов исследования структуры и свойств наноматериалов, а также методов контроля и аттестации изделий и полуфабрикатов для нанотехнологий.

XXI век ознаменовался революционным началом развития нанотехнологий и наноматериалов.

Они уже используются во всех развитых странах мира в наиболее значимых областях человеческой деятельности (*промышленности, обороне, информационной сфере, радиоэлектронике, энергетике, транспорте, биотехнологии, медицине*).

Анализ роста инвестиций, количества публикаций по данной тематике и темпов внедрения фундаментальных и поисковых разработок позволяет сделать вывод о том, что в ближайшие 20 лет использование нанотехнологий и наноматериалов будет являться одним из определяющих факторов научного, экономического и оборонного развития государств.

**В настоящее время интерес к новому классу материалов в области как фундаментальной и прикладной науки, так промышленности и бизнеса постоянно увеличивается.**

Это обусловлено следующими причинами:

- стремлением к миниатюризации изделий,
- уникальными свойствами материалов в наноструктурном состоянии,
- необходимостью разработки и внедрения материалов с качественно и количественно новыми свойствами,
- развитием новых технологических приемов и методов, базирующихся на принципах самосборки и самоорганизации,
  - практическим внедрением современных приборов исследования,
  - диагностики и модификации наноматериалов (*сканирующая зондовая микроскопия*),
- развитием и внедрением новых технологий, представляющих собой последовательность процессов литографии,
  - технологий получения нанопорошков и т.п.,
  - приближением к фундаментальным ограничениям (*скорость света, соизмеримость наноструктурных элементов с длиной волны электрона и т.п.*).

Направление наноструктурных исследований уже почти полностью сместилось от получения и изучения нанокристаллических веществ и материалов в область нанотехнологии, т. е. создания изделий, устройств и систем с наноразмерными элементами.

Основные области применения наноразмерных элементов — это электроника, медицина, химическая фармацевтика и биология.

# ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ И ТИПЫ СТРУКТУР

Существует несколько подходов к определению понятия «наноматериал»  
(рис.1).

- ✓ Самый простой подход связан с геометрическими параметрами, в соответствии с которым материалы с характерным размером структурных элементов в диапазоне от 1 до 100 нм называют наноструктурными.



# Терминологические подходы к понятию наноматериалов

Геометрические размеры  
 $D \sim 1 \dots 100$  нм

Доля границ раздела  $\Delta V_{гр} \geq 50\%$   
 $\Delta V_{гр} \sim 3s/D$  при ширине приграничной области  $s \sim 1$  нм  $D = 6$  нм

Критический размер для физического эффекта  $D_{кр} > D$

Возникновение нового качества при уменьшении  $V$  вещества или его компоненты по 1, 2 или 3 координатам до нанодиапазона

## Комплексный подход

содержание в материалах структурных элементов с  $D < 100$  нм хотя бы в одном измерении и обладающие качественно новыми характеристиками

Рис.1. Терминологические подходы к понятию наноматериалов.

• **Нижняя граница диапазона** обусловлена критическим размером существования нанокристаллического материала, как структурного элемента, имеющего упорядоченное строение, то есть кристаллическую решетку.

*Такой критический размер, в частности, для железа составляет около 0,5 нм.*

• **Верхняя граница диапазона** обусловлена тем, что заметные и интересные с технической точки зрения изменения физико-механических свойств материалов (*прочности, твердости, коэрцитивной силы и др.*) начинаются при размерах наноструктурных элементов существенно меньше 100 нм.

✓ Второй подход связан со значительной ролью в формировании свойств наноматериалов многочисленных поверхностей раздела.

При этом наибольшее изменение свойств происходит в случае, когда объемная доля поверхностей раздела в общем объеме материала составляет более 50%.

✓ Третий подход основан на понятии характерного размера для определенного физического явления:

- для *прочностных свойств* это будет размер бездефектного кристалла,
- для *магнитных свойств* – размер однодоменного кристалла,
- для *электропроводности* – длина свободного пробега электронов.

Считается, что если при уменьшении объема какого-либо вещества по одной, двум или трем координатам до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество, или это качество возникает в композиции из таких объектов, то эти образования следует отнести к наноматериалам, а технологии их получения и дальнейшую работу с ними; к нанотехнологиям.

## Принятая на сегодняшний момент терминология использует следующие термины:

- нанотехнология совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба;
- наноматериалы материалы, содержащие структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками;
- наносистемная техника полностью или частично созданные на основе наноматериалов и нанотехнологий функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинальным образом отличаются от показателей систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям.

# Основы классификации наноматериалов

В соответствии с приведенной на предыдущей странице терминологией наноматериалы можно разделить на четыре основные категории (рис. 2).



Рис. 2. Классификация наноматериалов.

**Первая категория включает** материалы в виде твердых тел, размеры которых в одном, двух или трех пространственных координатах не превышают 100 нм.

К таким материалам можно отнести наноразмерные частицы (нанопорошки), нановолокна, нанопроволоки, очень тонкие пленки (толщиной менее 100 нм), нанотрубки и т. п. Такие материалы могут содержать от одного структурного элемента или кристаллита (для частиц порошка) до нескольких их слоев (для пленки). В связи с этим первую категорию можно классифицировать как наноматериалы с малым числом структурных элементов или наноматериалы в виде наноизделий.

**Вторая категория** включает в себя материалы в виде малоразмерных изделий с характеризующим размером в примерном диапазоне 1 мкм...1 мм. Обычно это проволоки, ленты, фольги. Такие материалы содержат уже значительное число структурных элементов и их можно классифицировать как наноматериалы с большим числом структурных элементов (кристаллитов) или наноматериалы в виде микроизделий.



Третья категория представляет собой массивные (или иначе объемные) наноматериалы с размерами изделий из них в макродиапазоне (более нескольких миллиметров).

Такие материалы состоят из очень большого числа наноразмерных элементов (кристаллитов) и фактически являются поликристаллическими материалами с размером зерна 1...100 нм.

**В свою очередь третью категорию наноматериалов можно разделить на два класса.**

- **В первый класс** входят однофазные материалы, структура и (или) химический состав которых изменяется по объему материала только на атомном уровне. Они находятся в неравновесном состоянии. К таким материалам относятся, например, стекла.
- **Ко второму классу** можно отнести многофазные материалы, например, на основе сложных металлических сплавов.

**Четвертая категория** включает композиционные материалы, содержащие в своем составе компоненты из наноматериалов из первой категории и второй категории.