

ментах *in vitro* буферные растворы должны быть как можно ближе к биологическим жидкостям живого

организма, чтобы воспроизвести реальные “корону” и агломерацию.

Наноматериал	Порошок В матрице На поверхности
Дисперсия	Аэрозоль. Суспензия
Поглощение в организме	Отложение в легких, проникновение в альвеолы, кожу, кишечник
Модификация в организме	Изменение поверхности Агломерация / деагломерация
Распределение в организме	Проникновение через барьеры, распределение в тканях
Первичный эффект	Воспаление, образование активных форм, взаимодействие с клетками
Токсичность	Токсическое поражение органов, генотоксичность

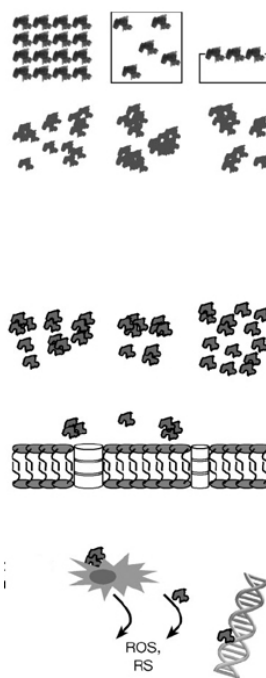


Рис. 2. Взаимодействие наноматериала с биологической средой [3]. ROS – активные формы кислорода, RS – другие активные формы, (например ионы металлов).

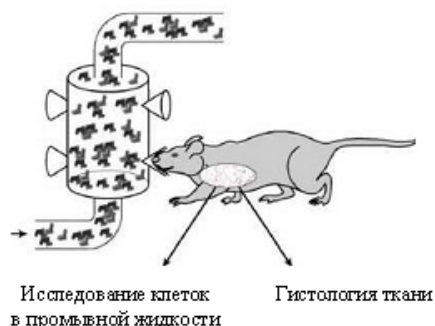


Рис.3 Схема исследований [3].

Ингаляционные исследования на крысах, по мнению авторов, являются наилучшей аппроксимацией воздействия наноматериалов на дыхательные пути человека. К сожалению, при этом приходится жертвовать животными, эксперименты длительные и дорогие. Немецкие учёные разработали ускоренный тест. Свои исследования для 6 оксидов металлов и двух углеродных материалов они проводили по схеме (рис. 3). Животные (14 крыс) вдыхали аэрозоли, полученные из наноматериалов, по 6 часов в день в течение 5 дней. Затем учёные проводили гистологию ткани лёгкого и исследования крови и бронхоальвеолярной промывной жидкости. Все данные получены в одинаковых условиях, поэтому можно провести достоверное сравнение.

Некоторые из исследованных материалов оказались токсичными, другие ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ , СВ) не вызвали никаких изменений даже при высокой концентрации аэрозолей. По убыванию токсичности нанома-

териалы расположились так: МСНТ  $\gg$   $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZnO}$   $>$   $\text{TiO}_2$   $>$   $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ , СВ.

Один из важных выводов исследователей – при определении риска для человека недостаточно охарактеризовать исходный наноматериал. Необходима дополнительная информация о модификации поверхности и агломерации в конкретной биологической среде. Эти два свойства определяют биокинетику, биораспределение и выделение наноматериалов из организма. Изучение биофизических свойств позволит улучшить стратегию тестирования и обеспечить производство безопасных для человека наноматериалов.

О.Алексеева

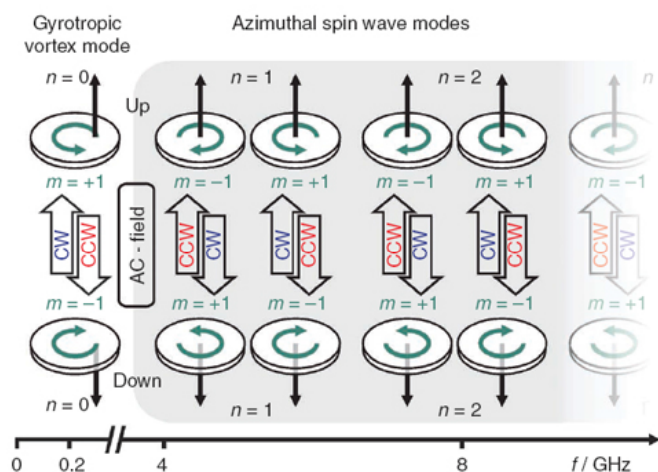
1. [ПерсТ 14, вып.19, с.2 \(2007\).](#)
2. [ПерсТ 15, вып.4, с.4 \(2008\).](#)
3. [R. Landsiedel et al., Adv. Mater. 22, 2601 \(2010\).](#)
4. [ПерсТ 17, вып.21, с.4 \(2010\).](#)

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Перемагничивание ядра магнитного вихря возбужденными спиновыми волнами

Магнитные вихри в тонких пленочных дисках микронного диаметра характеризуются замкнутым магнитным потоком в плоскости плёнки, минимизирующим дипольную энергию. В центре вихря имеется кор, намагниченный перпендикулярно плёнке с двумя возможными направлениями поляризации (вверх “+” или вниз “-”). Гиротропное движение вихря характеризуется частотами  $\sim 0.1$  ГГц. Динамическое обращение намагниченности кора на противоположную может быть достигнуто

пульсирующим или переменным магнитным полем, а также спин-поляризованным током [1]. Процесс перемагничивания сопровождается рождением и последующей аннигиляцией пары вихрь-антивихрь. Переполяризация кора позволяет использовать магнитные вихри как биты памяти, а также для устройств спинтроники. Однако для увеличения быстродействия желательно перейти на большие частоты. Расчеты украинских физиков [2] показали, что взаимодействие спиновой волны, возбужденной внутри кора, с вихрем может приводить к обращению ядра на частотах  $\sim 1$  ГГц. В недавней работе [3] группа немецких и бельгийских исследователей экспериментально подтвердила такой процесс переключения и обнаружила, что одновременно возбуждается не одна, а несколько спиновых волн. Различные типы мод и их характерные частоты показаны на рисунке. Перемагничивание кора возможно только тогда, когда направления вращения вихря и внешнего поля совпадают и направлены либо по часовой стрелке (CW) или против нее (CCW). Достигнуты частоты переключения  $\sim 10$  ГГц, что открывает новые пути в спинтронике.



Исследовались диски из пермаллоя диаметром 1.6 мкм, толщиной 50 нм. Перпендикулярная к плоскости намагниченность кора регистрировалась методом сканирующей просвечивающей рентгеновской микроскопии, использующей XMCD, на станции MAXIMUS на синхротроне BESSY 2 в Берлине. Пространственное разрешение микроскопа (25 нм) оказалось достаточным для визуализации кора и его перемагничивания.

*С. Овчинников*

1. K.Yamada et al., *Nature Mater.* **6**, 269 (2007).
2. V.Kravchuk et al., *J. Appl. Phys.* **102**, 043908 (2007).
3. M.Kammerer et al., *Nature Commun.* **2**, 279 (2011).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### *Синтез однослойных углеродных нанотрубок с узким распределением по диаметрам*

Благодаря удачному сочетанию электронных характеристик, высокой механической прочности, а также химической и термической стабильности угле-

*ПерсТ, 2011, том 18, выпуск 9*

родные нанотрубки (УНТ) рассматриваются в качестве элементов будущей нанoeлектроники. Однако для реализации огромного прикладного потенциала, заложенного в этих системах, необходимо научиться получать УНТ, имеющие заданную структуру (диаметр, длина, хиральность), определяющую их электронные характеристики. Между тем стандартные подходы к синтезу УНТ позволяют получать нанотрубки, параметры которых распределены в весьма широких пределах. Поэтому для использования в микроэлектронике необходимо выполнить весьма дорогостоящую и не всегда эффективную процедуру их разделения по характеристикам. Более эффективным подходом к решению задачи получения УНТ с заданными параметрами представляется поиск условий синтеза, способствующих синтезу УНТ с узким распределением по структурным параметрам.

Эффективность такого подхода была продемонстрирована недавно группой исследователей из Nagoya Univ. (Япония) [1]. Однослойные УНТ были выращены на Si/SiO<sub>2</sub> подложке с использованием этилового спирта в качестве углеродосодержащего вещества. Подложку методом электродугового напыления покрывали слоем Co толщиной 0.09 нм, который служил катализатором процесса синтеза УНТ. Последующий отжиг подложки при остаточном давлении  $5 \cdot 10^{-5}$  Па и температуре 660°C привел к образованию частиц катализатора диаметром  $0.305 \pm 0.029$  нм с поверхностной плотностью  $1.25 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup>. Затем через камеру в течение от 1 до 25 мин пропускали пары спирта при давлении 5.4 Па и скорости 5.4 см<sup>3</sup>/мин.

Исследования полученных образцов методами комбинационного рассеяния (КР) и сканирующей электронной микроскопии показали, что уже в течение 7 мин образуются однослойные УНТ длиной в десятки доли микрона. Отмечается, что рост УНТ сопровождается их окислением кислородом, выделяющимся при термолитезе спирта на поверхности частиц катализатора. Однако в первые минуты синтеза скорость роста УНТ превосходит скорость их окисления с последующим испарением продуктов окисления. Оптимальное время роста составило 7 мин. Спектроскопия КР показала, что УНТ характеризуются распределением диаметров в диапазоне между 0.79 и 1.07 нм. Столь малый диаметр УНТ и его узкое распределение, по мнению авторов, стали возможными благодаря относительно низкой температуры синтеза и малому среднему размеру частиц катализатора.

*А. Елецкий*

1. Ishii et al., *Jap. J. Appl. Phys.* **50**, 015102 (2011).

### *Синтез однослойных нанотрубок при пониженных температурах*

От успешного решения проблемы синтеза углеродных нанотрубок (УНТ) с заданными характери-