

1.18. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР

Цель лекции: ознакомление с основными понятиями низкоразмерных структур.

Начало нанотехнологической эре положил в 1959 г. Р. Фейнман в лекции *There's Plenty of Room at the Bottom* («Там внизу — много места»). Понятие «нанотехнология» было введено в обиход в 1974 г. Н. Танигучи (Япония).

Наноинженерия (*nanotechnologica lengineering*) — междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, предметом которой являются исследования, проектирование и совершенствование методов производства и применения интегрированных систем, основанных на законах и принципах нанотехнологий и микро- и наносистемной техники.

Наноэлектроника — область современной электроники, занимающаяся разработкой физических и технологических основ создания интегральных электронных схем и устройств на их основе с размерами элементов менее 100 нм. В табл. 1.1 приведено место нанообъектов в окружающем мире. Компоненты больших электронных схем (БИС) имеют размер менее 100 нм и относятся к нанобию.

Таблица 1.1

Место нанообъектов в окружающем мире

Размерная область (характерный размер)	Объект
Макромир (10 м)	Кашалот
1–2 м	Человек
10 см = 10^{-3} м	Страусиное яйцо
1 см = 10^{-2} м	Пчела
1 мм = 10^{-3} м	Песчинка
Микромир (100 мкм = 10^{-4} м)	Толщина полиэтиленовой пленки, яйцеклетка
10 мкм = 10^{-5} м	Толщина человеческого волоса
1 мкм = 10^{-6} м	Эритроцит крови, кишечная палочка
Наномир (100 нм = 10^{-7} м и менее)	Размер компонентов БИС
10 нм = 10^{-8} м	Вирус
1 нм = 10^{-9} м	Белковая молекула, диаметр спирали ДНК

Базисом для возникновения нанотехнологий стали многолетние исследования физиков, химиков, механиков, материаловедов, биологов и специалистов в других областях науки. Для того чтобы понять, почему наномир начинается от 100 нм и далее в сторону уменьшения размера, необходимо рассмотреть зависимость изменения числа атомов на поверхности от размера частиц, составляющих данное количество материала (рис. 1.95).

Как видно на рис. 1.95, при уменьшении размера 100 нм происходит резкое возрастание числа поверхностных атомов, вклад которых в свойства нанобъекта становится определяющим. Поверхностные атомы — это, как правило, атомы с оборванными ковалентными связями, поэтому они намного более активны, чем атомы внутри частицы. Кроме того, на данном размерном уровне начинает проявляться действие законов квантовой механики. Все это в комплексе обуславливает совершенно иные физико-химические свойства частиц размером менее 100 нм по сравнению с макро- и микрочастицами.

Наиболее характерными особенностями наноматериалов являются:

- появление нетрадиционных видов симметрии структуры и особых видов сопряжения границ раздела фаз;
- ведущая роль процессов самоорганизации в структурообразовании, доминирующих над процессами искусственного упорядочения;
- высокая полевая активность и каталитическая избирательность поверхности наночастиц и их ансамблей;
- особый характер протекания процессов передачи энергии, заряда и пространственных организаций, отличающихся низким энергопотреблением, высокой скоростью и наличием синергетических признаков и ярко выраженной анизотропией свойств.

На рис. 1.96 представлена классификация наноматериалов по Р. Зигелю.

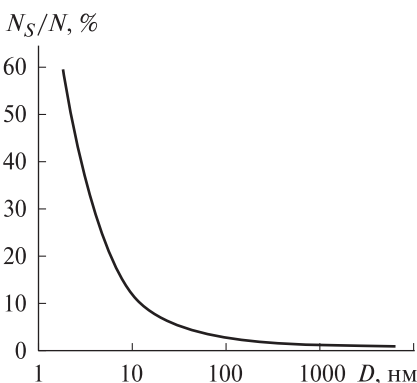


Рис. 1.95. Зависимость изменения числа атомов на поверхности N_s от размера частиц D , составляющих данное количество материала (N — общее число атомов частицы)

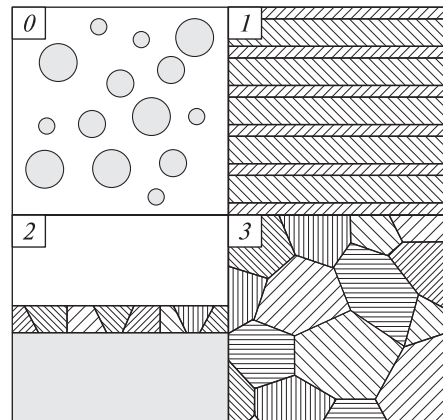


Рис. 1.96. Классификация наноматериалов по Р. Зигелю:

0 — атомные кластеры и наночастицы; 1 — многослойный материал; 2 — наноструктурное покрытие; 3 — объемные наноструктурные материалы

Наноматериалы могут быть очень мелкими частицами в виде порошков или коллоидных взвесей, многослойных материалов, каждый слой которых имеет наноразмерную толщину. Также это могут быть различные покрытия с наноструктурированным поверхностным слоем внутри какого-либо материала, например, сплава металлов, могут образовываться объемные наноструктурные материалы.

Физические свойства наноматериалов в зависимости от уменьшения размера структурного элемента:

- фазовые превращения — понижение температуры фазовых превращений, в том числе температуры плавления;
- кинетические — аномально высокие значения коэффициентов диффузии, повышение теплоемкости, снижение теплопроводности;
- электрические — повышение электрического сопротивления, возрастание диэлектрической проницаемости;
- магнитные — возрастание коэрцитивной силы, магнитосопротивления, появление супермагнетизма;
- механические — повышение предела текучести, твердости, вязкости разрушения, износостойкости, проявление сверхпластичности при высоких температурах.

Уменьшение размера структурного элемента какого-либо материала приводит к значительным изменениям свойств этих материалов, что позволяет использовать их для создания различных технических устройств с улучшенными параметрами.

Тесты к лекции 1.18

1. Что такое наноэлектроника?

а) область современной электроники, занимающаяся разработкой физических и технологических основ создания интегральных электронных схем и устройств на их основе с размерами элементов менее 100 нм;

б) область современной электроники, занимающаяся разработкой физических и технологических основ создания интегральных электронных схем и устройств на их основе с размерами элементов менее 10 нм;

в) область современной электроники, занимающаяся разработкой физических и технологических основ создания интегральных электронных схем и устройств на их основе с размерами элементов менее 1 нм.

2. Что такое нанолуковица?

а) сферическая наночастица с концентрической множественной структурой раковины;

б) куполообразная наночастица с множеством ячеек внутри;

в) гибридная наночастица в виде стрелки лука.

3. Что происходит с наночастицей при уменьшении ее размера менее 100 нм?

а) резкое возрастание числа поверхностных атомов;

б) резкое уменьшение числа поверхностных атомов;

в) резкое уменьшение ее объема.

4. На каком размерном уровне начинает проявляться действие законов квантовой механики?

- а) на размерном уровне менее 100 нм;
- б) на размерном уровне менее 100 мкм;
- в) на размерном уровне менее 100 мм.

5. Какие науки являлись базисом для возникновения нанотехнологий?

- а) физика, химия, механика, материаловедение, биология;
- б) геофизика, геохимия, гидравлика, электротехника;
- в) лингвистика, археология, ботаника.