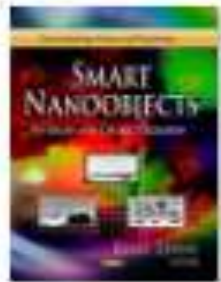


**АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН И ИЕРАРХИЧЕСКИЕ НАНОСТРУКТУРЫ (R@D-
МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА «НАНОТЕХНОЛОГИЯ И ДИАГНОСТИКА»)**

**Наука настоящего и будущего ННБ-Х
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 19 мая 2022г.
Мошников В.А.**



66667



9781536147087-e
1557241561726



9781536170900-s
caled-e15845477
17400



9781634823531-e
1552411878163



О магистерской программе

Содержание основных дисциплин магистерской программы "Нанотехнология и диагностика" ориентировано на трансдисциплинарный подход, позволяющий обоснованно реализовать моделирование, синтез и исследование искусственных биомиметических функциональных аналогов природных материалов с развитым полиморфизмом, конформационной и конфигурационной лабильностью. определяющих многообразие свойств и возможных областей применения, включая неинвазивную сенсорику, генерацию и рекуперацию энергии, органо- и нейропротезирование.

Каждому магистранту в начале обучения назначается руководитель из числа ведущих педагогических и научных кадров, как правило, докторов наук. Фактически обучение в исследовательской магистратуре по форме это мастер-класс руководителя. Мастер (научный руководитель) формулирует магистру общее научное направление и стратегическую задачу на весь период обучения. Научная задача определяет перечень дисциплин, которые должен освоить магистр. Основной упор делается на практические исследования.

Мастер-классы

Атомно-молекулярный дизайн и синтез. Биомиметика, природоподобные материалы, биоинтерфейс. Микро- и наносистемы с критической миссией (проф. Лучинин В.В.)

Нетрадиционные механизмы роста. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы. Фрактально-перколяционные наноструктуры. Коллоидные квантовые точки, золь-гель технология, пористые иерархические наноструктуры, газовые сенсоры и биосенсоры, узкозонные полупроводники, солнечные элементы (проф Мошников В.А.)

Физика полупроводников, наноэлектроника, емкостная и адмиттансная спектроскопия, квантово-размерные структуры (квантовые ямы, квантовые точки), широкозонные полупроводники (GaN, алмаз), матричные фотоэлектронные устройства, компьютерные технологии и автоматизация эксперимента, виртуальные приборы (проф. Зубков В.И.)

Моделирование физических механизмов получения алмазов, графенов, углеродных нанотрубок, разработка и оптимизация структур на их основе, моделирование отдельных приборов на основе этих и иных углеродных материалов (проф. Алексеев Н.И.)

Экспериментальные исследования электрических и оптических свойств полупроводниковых, полимерных и композитных материалов, а также приборов органической электроники на основе полимерных наноструктур: органических светодиодов, полевых транзисторов, полимерных солнечных элементов, элементов нейроморфных сетей (проф. Алешин А.Н., ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН)

Микро- и наносистемная техника, измерительные и микромеханические преобразователи, сенсорика, проектирование и технология датчиков, размерные и кооперативные явления в микро- и наноструктурах (проф. Корляков А.В.)

Квантовая теория поля, электродинамика движущихся сред, нелинейные поля в вакууме и геометрия пространства-времени, физика полупроводников, теория экситонов и поляритонов, методы теории групп в квантовой механике и физике твердого тела. Расчет зонной структуры фотонных кристаллов (проф. Глинский Г.Ф.)

Технология выращивания объемных монокристаллов карбида кремния, физико-химические основы технологии роста объемных монокристаллов, физика ростовых дефектов; эпитаксиальный рост на неизоморфных подложках, бикристаллография границ раздела, рентгендифракционные методы исследования ростовых объектов (проф. Лебедев А.О.)

Сканирующая микроскопия сопротивления растекания, атомно-силовая микроскопия, пористые материалы, мезопористый кремний, микропористый кремний, системы адресной доставки лекарств на основе пористого кремния, функциональный состав поверхности, применение пористого кремния в медицине (доц., докторант Спивак Ю.М.)

Физико-химические основы атомно-молекулярного-дизайна

1. Введение.

2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла

3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации

Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты

ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности

5. АСМ дизайн- локальное окисление

6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.

7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов

Элементы атомно-молекулярной архитектоники.

8. Механизм сращивания через кислородные мостики

8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы

9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами

10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой

11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка

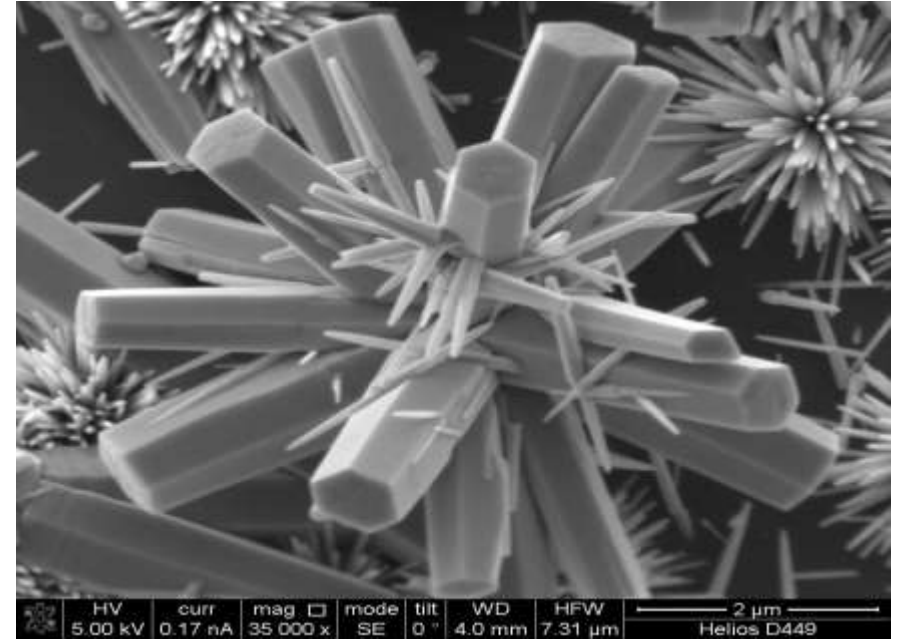
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики

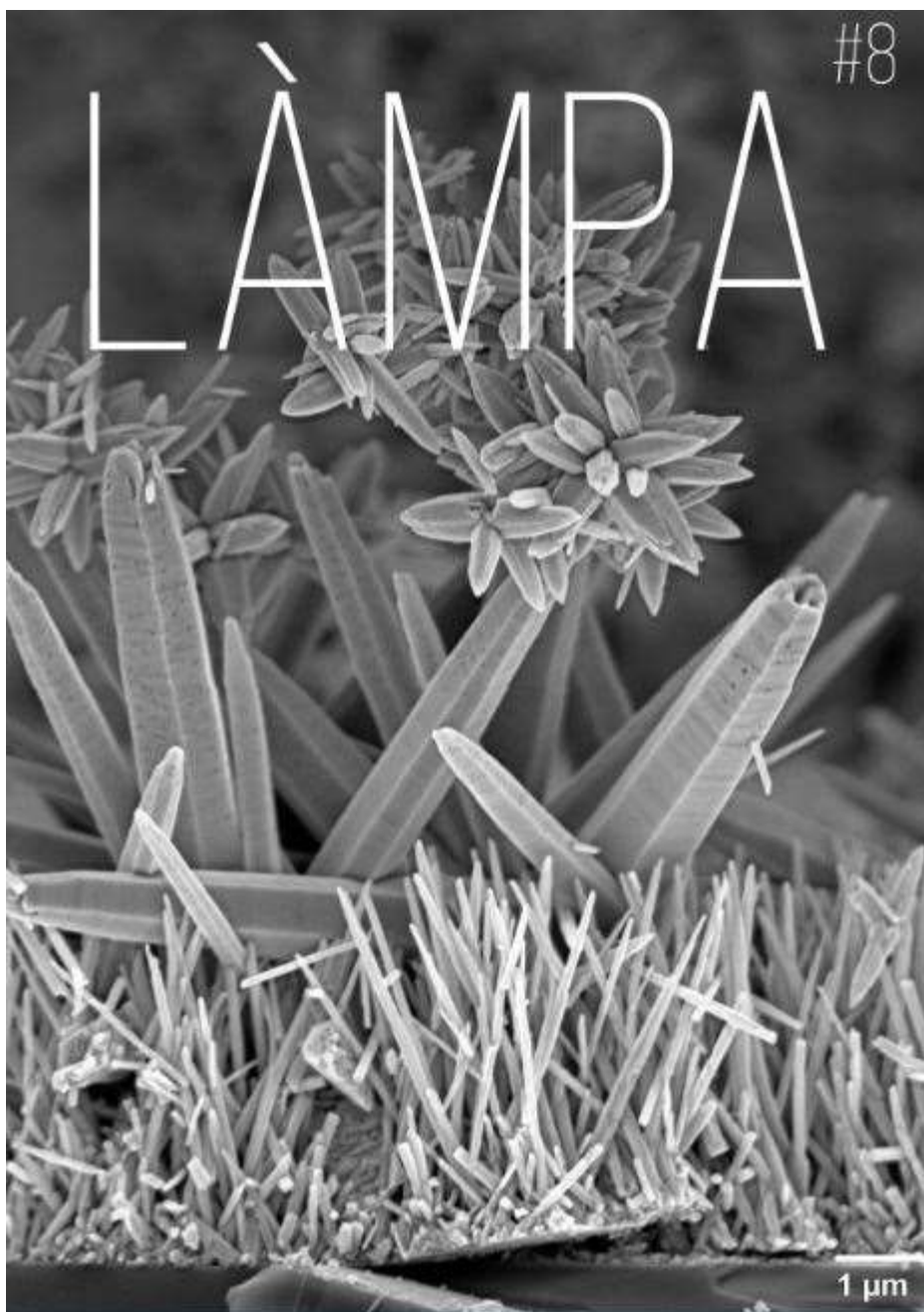
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой

14. Максены

15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур

16. Заключение.





Основная литература для углубленного изучения материала лекции

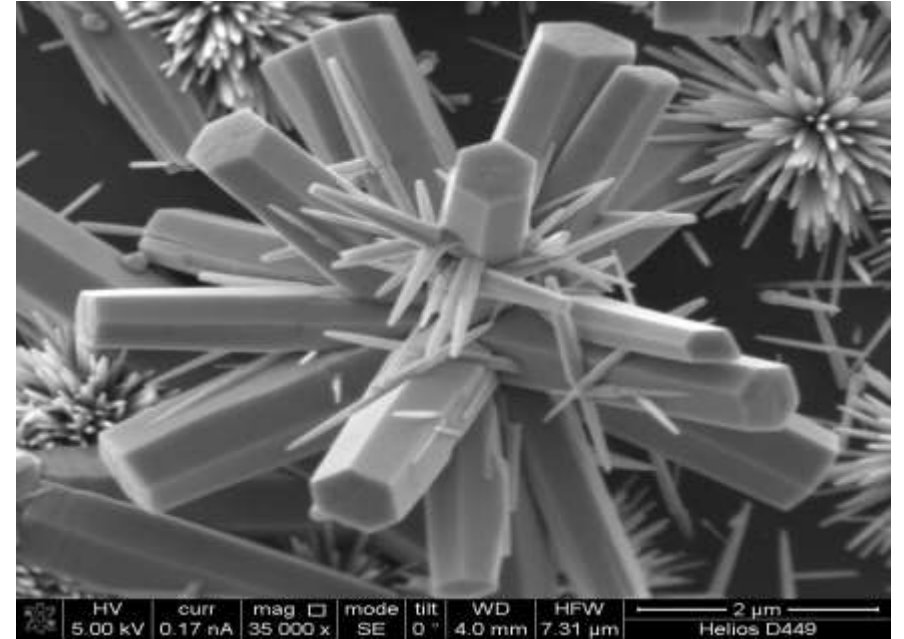
1. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы / под ред. В.В. Лучина, Ю.М. Таирова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
2. Наночастицы, наносистемы и их применение. Ч. I. Коллоидные квантовые точки / под ред. В. А. Мошников, О. А. Александровой // НИЦ «Аэтерна», г. Уфа, 2015 г., 235 с.
3. Наночастицы, наносистемы и их применение. Часть II. Углеродные и родственные слоистые материалы для современной наноэлектроники: Учеб. пособие / под ред. В. А. Мошников, О. А. Александровой. Уфа: Аэтерна. –2016.–330с.
4. Золь-гель технология микро-и нанокомпозитов: учеб. пособие / В. А. Мошников, Ю.М. Таиров, Т.В. Хамова, О.А. Шилова; под ред. О.А. Шиловой. СПб.: Лань, 2013. 304 с.
5. Грачева И.Е., Мошников В.А. Наноматериалы с иерархической структурой пор: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 106 с
6. Атомно-силовая микроскопия для исследования наноструктурированных материалов и приборных структур: учеб. пособие / В. А. Мошников, Ю. М. Спивак, П. А. Алексеев, Н. В. Пермяков. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 144 с.
7. Мошников В. А., Федотов А. А., Румянцева А. И. Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и наноэлектронике: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 84 с.
8. Мошников В. А., Спивак Ю. М. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 80 с.
9. Наноструктурные оксидные материалы в современной микро-, нано- и оптоэлектронике/ под ред. В. А. Мошников, О. А. Александровой. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. 266 с.

10. ХАЛЬКОГЕНИДЫ И ОКСИДЫ ЭЛЕМЕНТОВ IV ГРУППЫ. ПОЛУЧЕНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ / Под ред. Мошников В.А

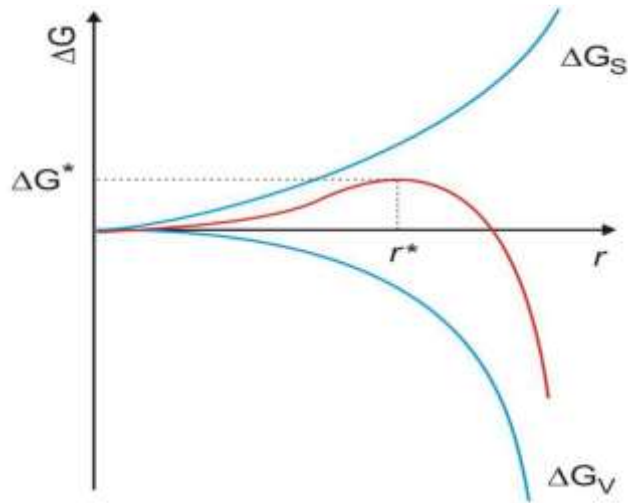
// авторы : Александрова О.А., Максимов А.И., Мошников В.А., Чеснокова Д.Б. Санкт-Петербург. 2008.

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. **Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла**
3. **Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации**
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.



Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла

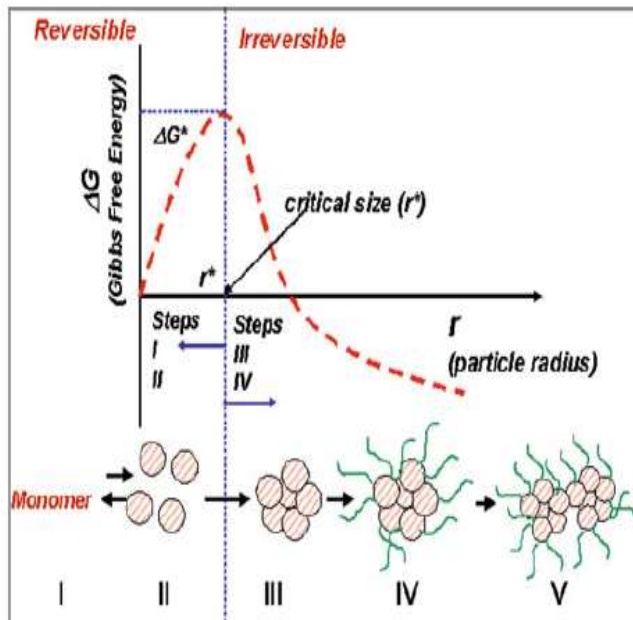


Движущей силой фазового превращения является разность свободных энергий системы в ее конечном и начальном состояниях:

Радиус критического зародыша:

$$r^* = \frac{2\gamma}{\Delta G_V}$$

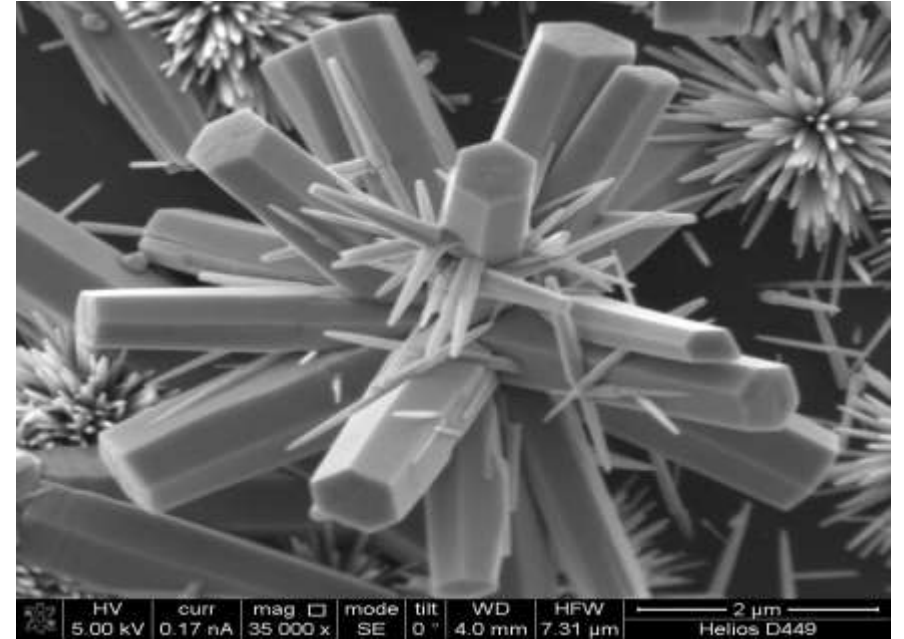
где γ отнесено к единице объема новой фазы, r – радиус зародыша, – удельная поверхностная энергия



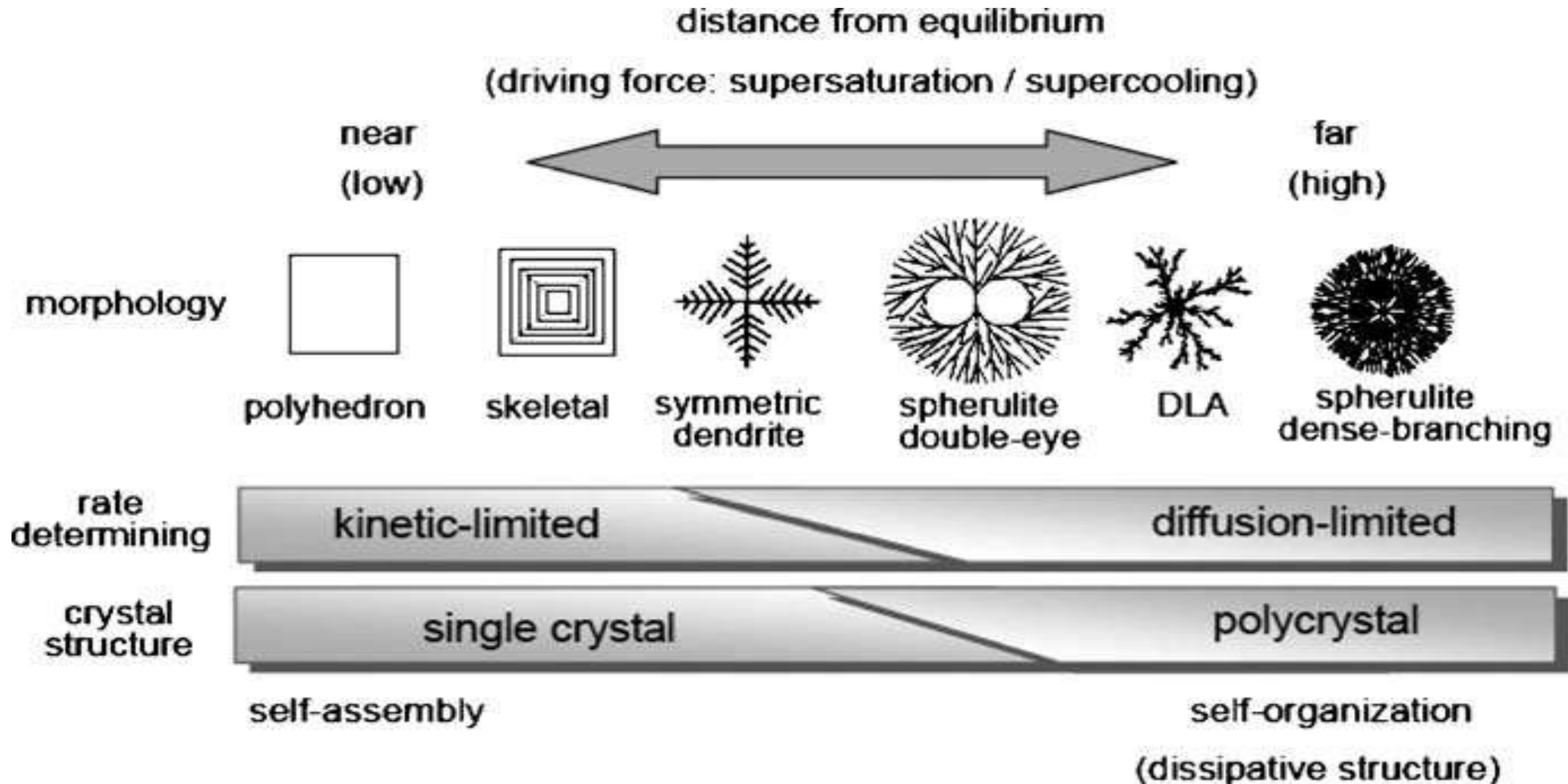
Процесс зарождения и роста можно разделить на пять шагов. Первый шаг состоит из реакции прекурсоров (мономеров), которые приводят к желаемому соединению (например, полупроводника или оксидного соединения). Это соединение будет взаимодействовать (стадия II), приводящий к процессу роста кластера или мономера. Шаги I и II являются обратимыми. Когда кластер вырастает до критического размера (шаг III), процесс становится необратимым (термодинамическое условие), а размер кристалла можно контролировать с помощью стабилизаторов (этап IV). В первом приближении форма кристалла имеет вид контролируется энергетическими аргументами. Фактически кластер будет расти в геометрической форме, чтобы минимизировать поверхностную энергию. На этом этапе можно вмешаться в процесс, например, продвигая предпочтительная адсорбция / десорбция стабилизатора, приводящая к анизотропному кристаллу. Фактически, размером и формой нанокристалла можно управлять с помощью подходящая комбинация стабилизаторов и растворителей (кинетическое состояние). Последний шаг (этап V) состоит из взаимодействия нанокристаллов, образованных на этапе IV, с целью производить более крупные конструкции. Этот процесс самосборки на основе нанокристаллов регулируется за счет взаимодействий частица-частица и частица-растворитель.

ПЛАН ЛЕКЦИИ

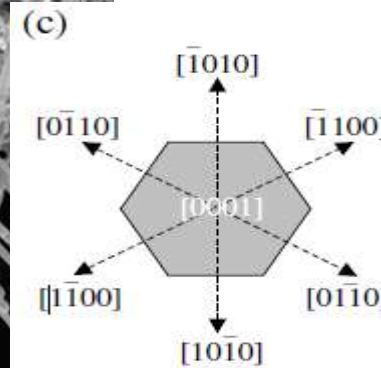
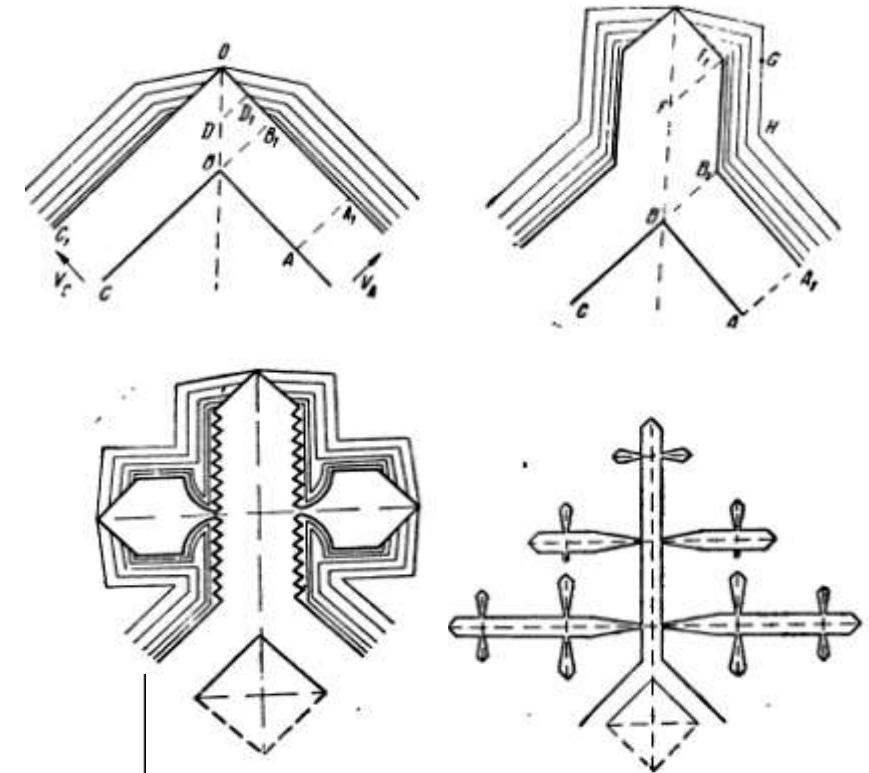
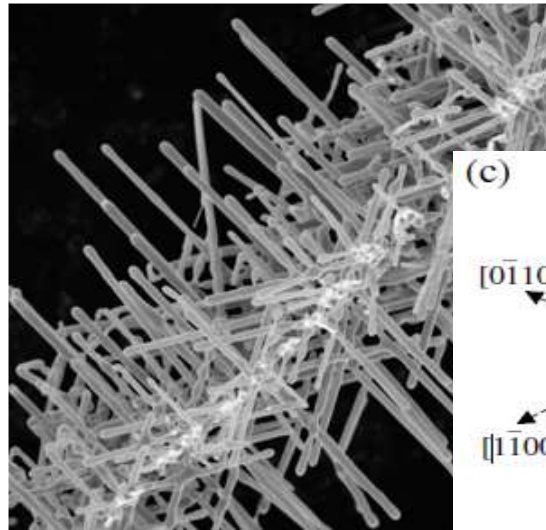
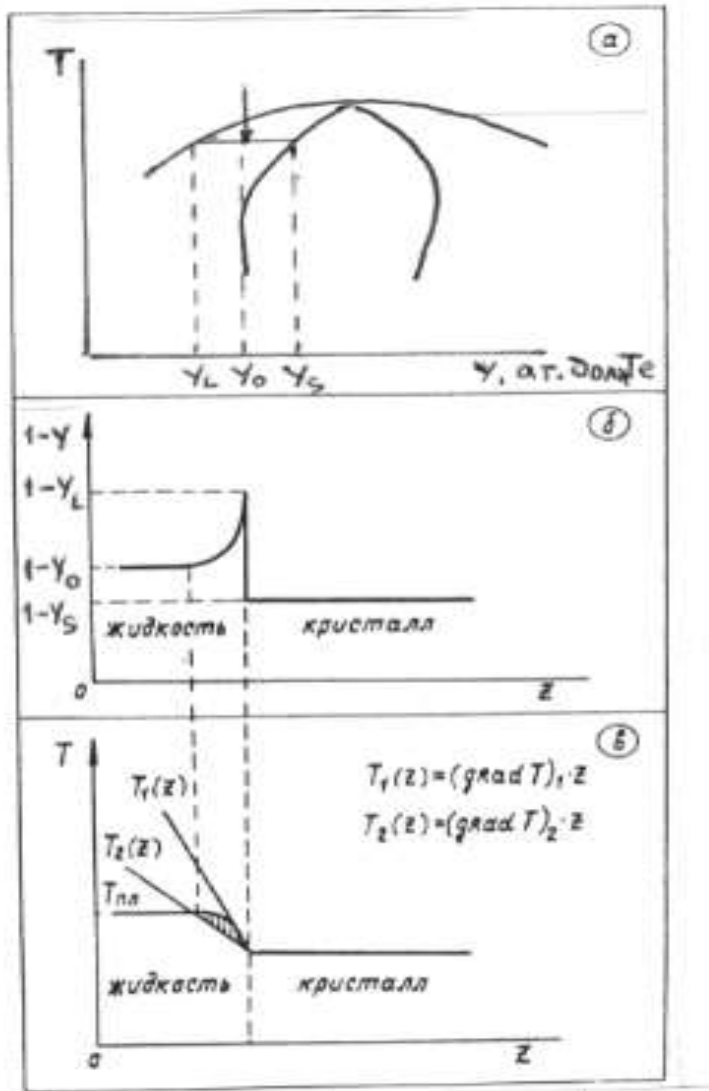
1. Введение.
2. *Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла*
3. **Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации**
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. *СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности*
5. *АСМ дизайн- локальное окисление*
6. *Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.*
7. *Нетрадиционные механизмы образования кристаллов*
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. *Механизм сращивания через кислородные мостики*
8. *Ориентированное сращивание. Мезокристаллы*
9. *Наноархитектоника гибридных органико-неорганических систем с мостиковыми переходами*
10. *Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой*
11. *Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка*
12. *Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики*
13. *Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой*
14. *Максены*
15. *Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур*
16. *Заключение.*



Физико-химические особенности формирования кристаллической структуры твердого тела



Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации

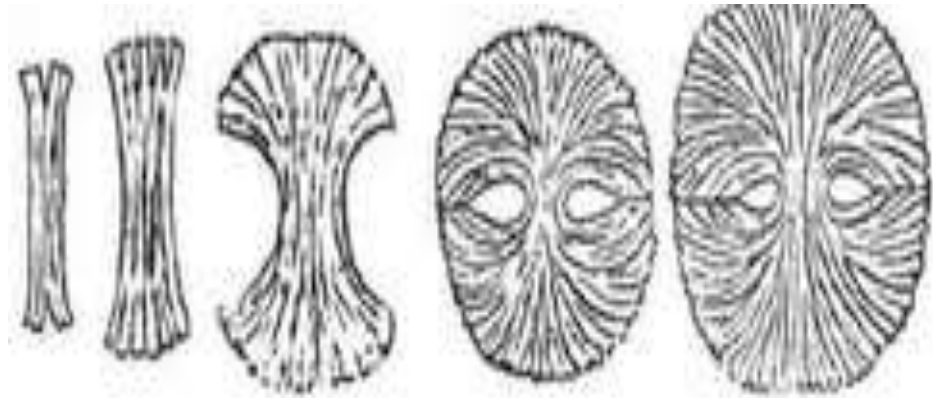


[Z. Wang](#) Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications //Journal of Physics: Condensed Matter 2004r

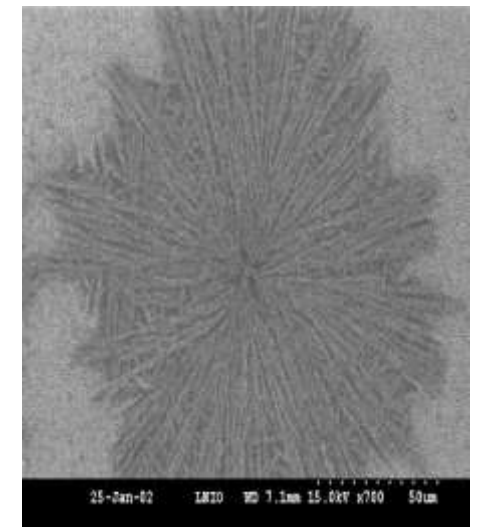
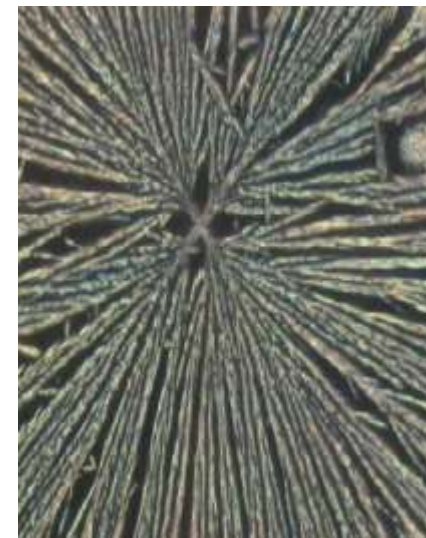
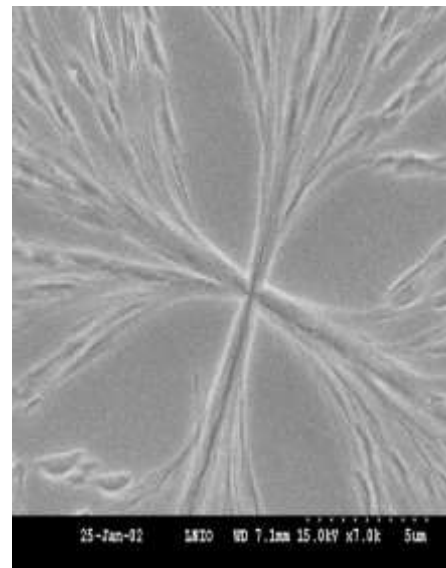
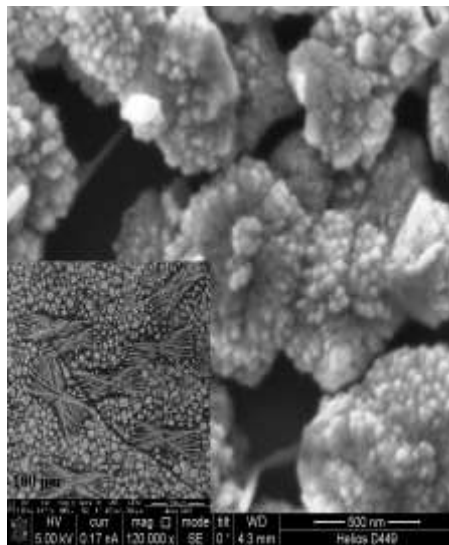
Концентрационное переохлаждение

Саратовкин Д.Д. Дендритная кристаллизация. М.:
Металлургия, 1957

Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты

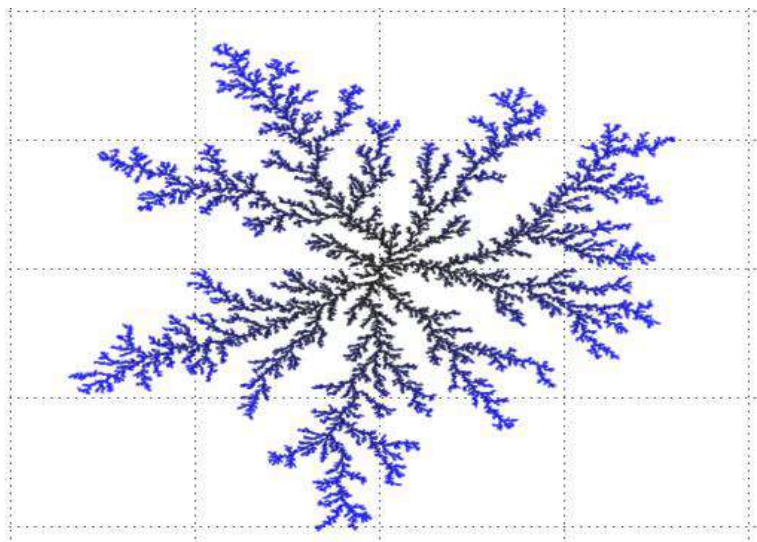


Расщепленные кристаллы : каждая «отщепина» - монокристалл. Причины расщепления: присутствие в среде микрочастиц, адсорбирующихся на поверхности кристалла; наличие царапин или микроблоков, чуть развернутых при механических деформациях; гетерометрия. **Сферокристалл** - форма расщепления кристаллов, возникающая в результате непрерывного расщепления в течение всего процесса их роста. **СФЕРОЛИТ** - форма роста кристалла, возникшая в результате его расщепления в начальной стадии роста и последующего совместного разрастания образовавшихся при расщеплении субиндивидов по радиальным направлениям с геометрическим отбором.

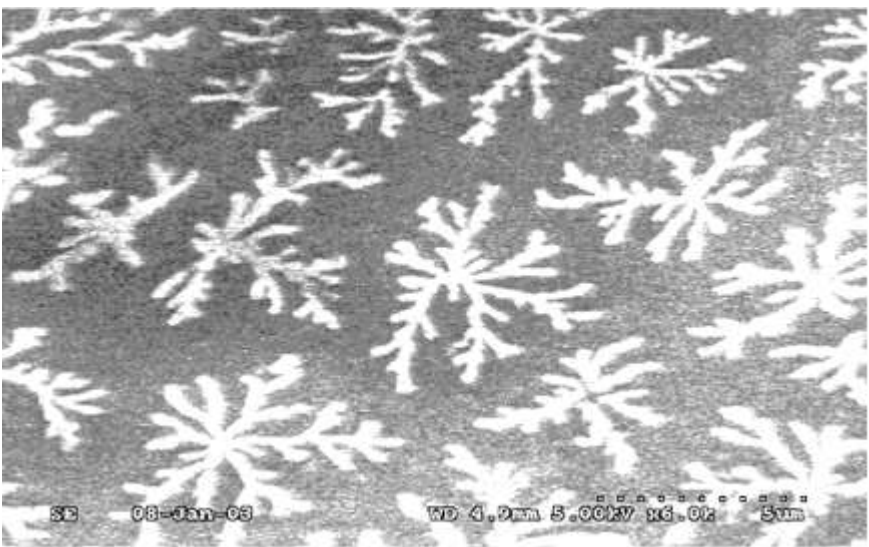


золь: $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ + изопропиловый спирт + ТЭОС
в золь добавлялось ПАВ: цетилтриметиламмоний бромид ($\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{BrN}$)

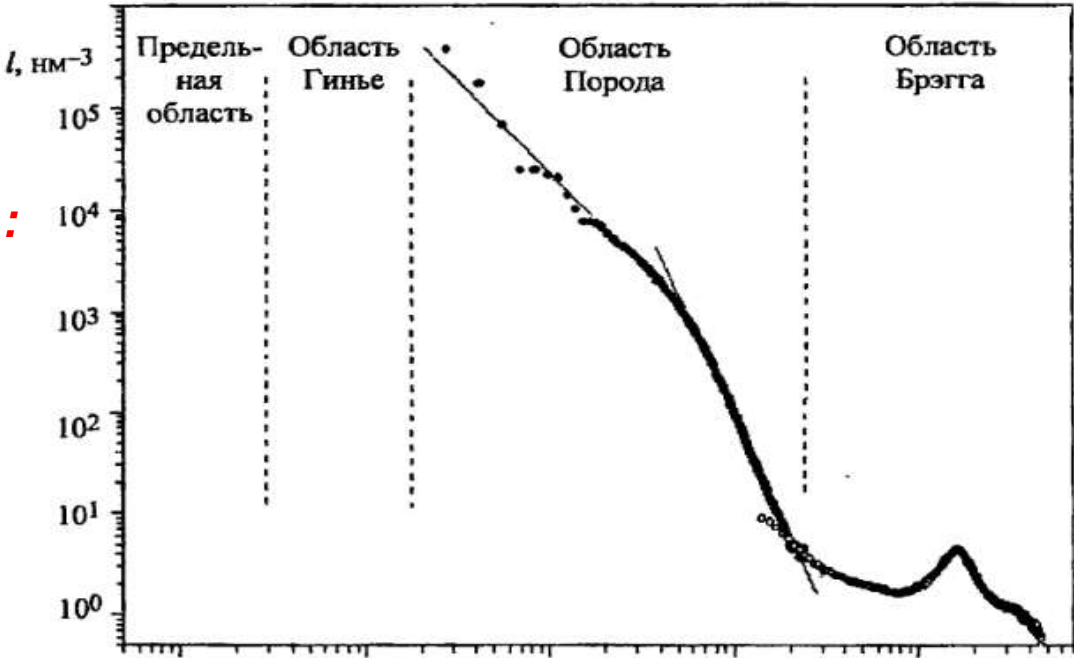
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ



Модель DLA. ФРАКТАЛ Виттена-Сэндора

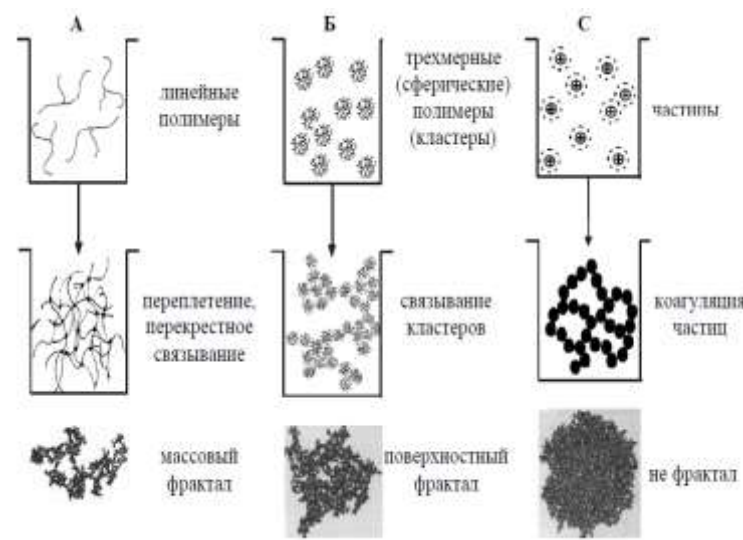


Золь-гель технология микро-и нанокомполитов:
учеб. пособие / В. А. Мошников, Ю.М. Таиров, Т.В. Хамова, О.А. Шилова; под ред. О.А. Шиловой. СПб.: Лань, 2013. 304 с.

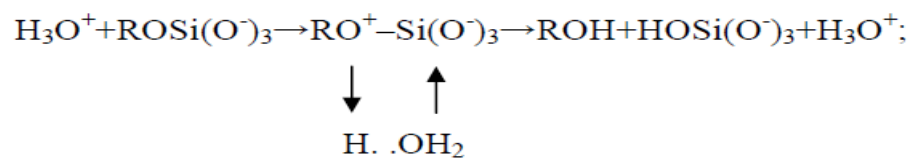


Метод малоуглового рассеяния рентгеновских лучей

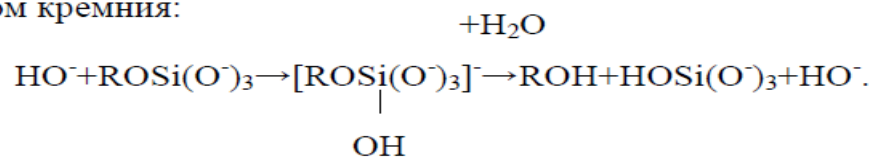
АРХИТЕКТОНИКА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПРОДУКТОВ



в кислой среде электрофильный ион гидроксония атакует кислородный атом алкоксигруппы с образованием четырехцентрового переходного комплекса:



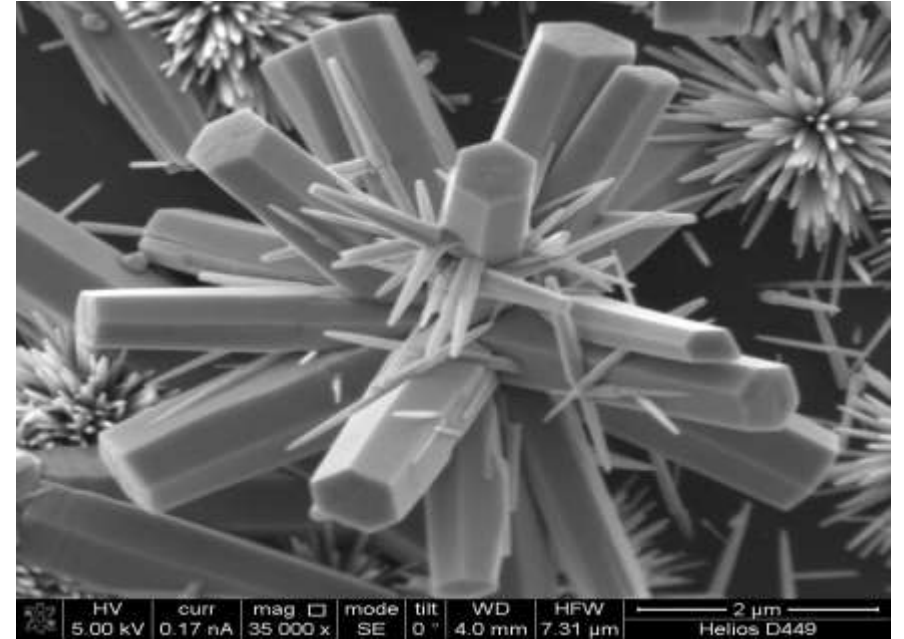
в щелочной среде реакция инициируется нуклеофильной атакой иона гидроксила на центральный атом кремния:



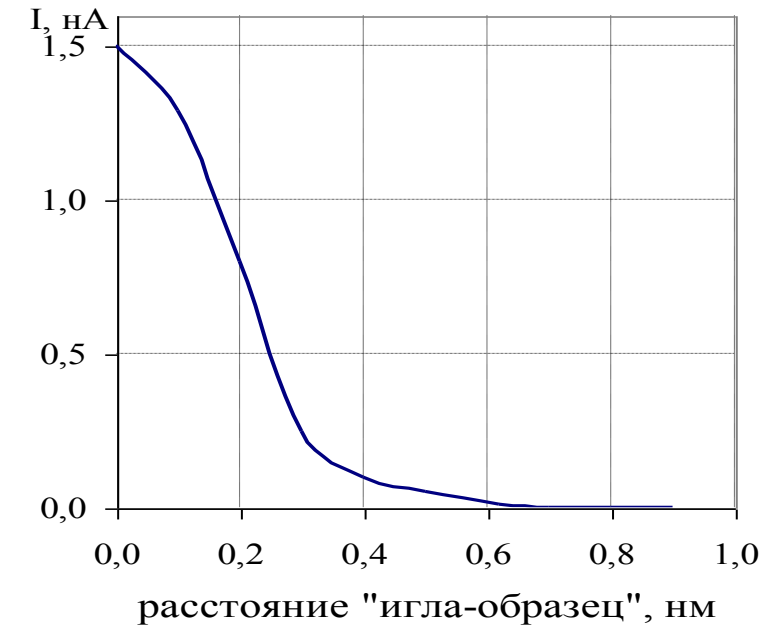
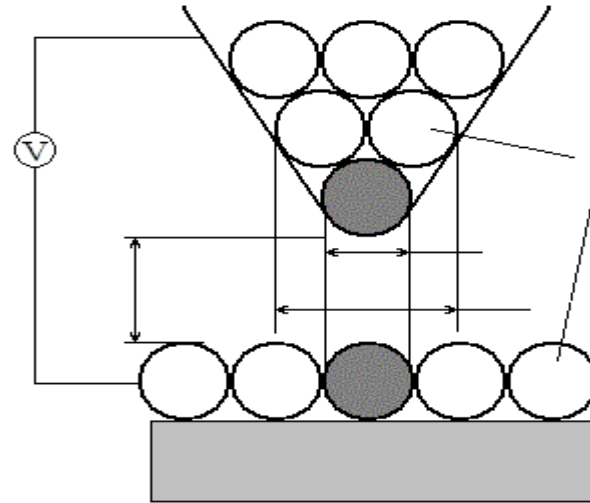
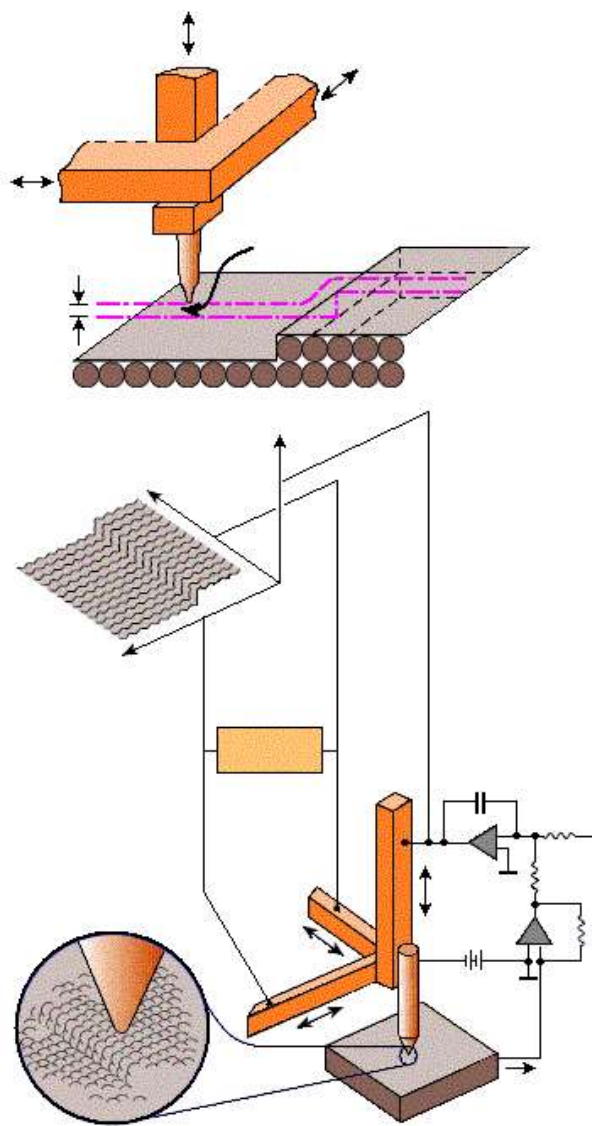
В кислых условиях при низком содержании воды $\text{H}_2\text{O}:\text{Si} < 5$, в кремнезолях формируются линейные слабо разветвленные полимеры, которые в результате переплетения и перекрестного связывания приводят к гелеобразованию с образованием слабо разветвленной полимерной сетки. Такие гели представляют собой системы с фрактальным типом структурной организации, а именно массовые фракталы. В то же время в щелочных условиях при высоком содержании воды $\text{H}_2\text{O}:\text{Si} > 7$, формируются высоко разветвленные кластеры, которые связываются друг с другом с образованием трехмерной пространственной сетки, подобно формированию коллоидных гелей. В данном случае гели представляют собой поверхностные фракталы, в отличие от коллоидных гелей, которые являются нефрактальными структурами.

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
- ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.

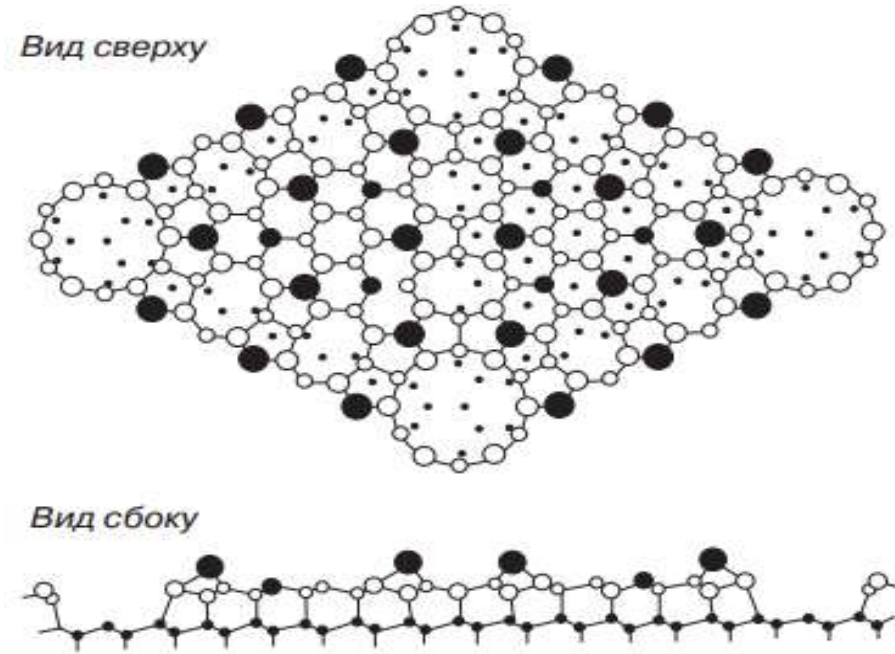
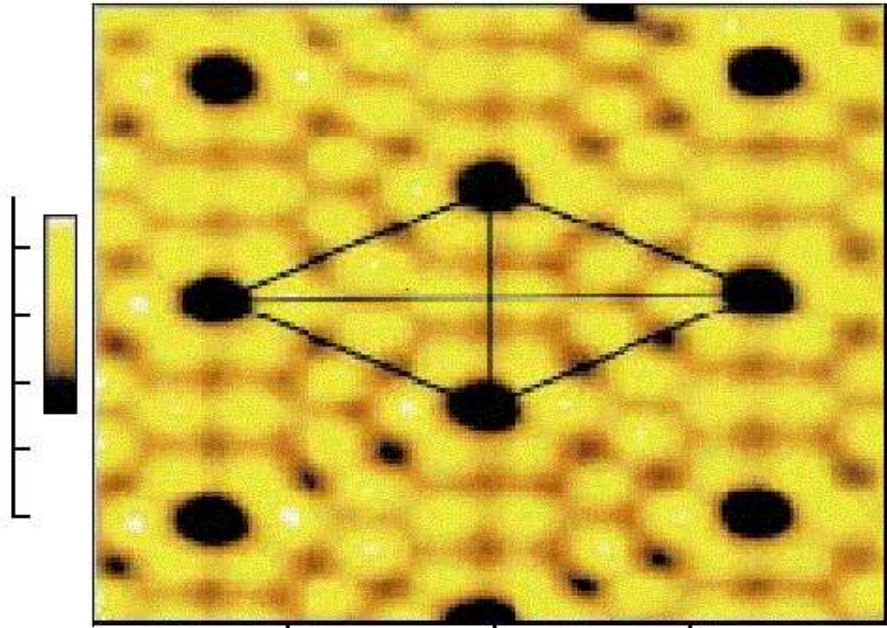


СЗМ-нанотехнологии



При приложении между острием и образцом небольшого напряжения смещения U_z (от 0.01 до 10 В) через вакуумный промежуток δ_z начинает протекать туннельный ток I_t порядка 10^{-9} А. Полагая, что электронные состояния (орбитали) локализованы на каждом атомном участке, при сканировании поверхности образца в направлении X и/или Y с одновременным измерением выходного сигнала в цепи Z можно получить картину поверхностной структуры на атомном уровне. Эта структура может быть отображена в двух режимах: измеряя туннельный ток и поддерживая расстояние δ_z от острия до поверхности образца или измеряя изменение в положении острия (т. е. расстояние до поверхности образца) при постоянном туннельном токе (второй режим используется чаще). *(Рисунки из диссертации д.т.н. Быкова В.А., М. МИЭТ, 2000)*

Модель поверхности Si(111) – 7x7



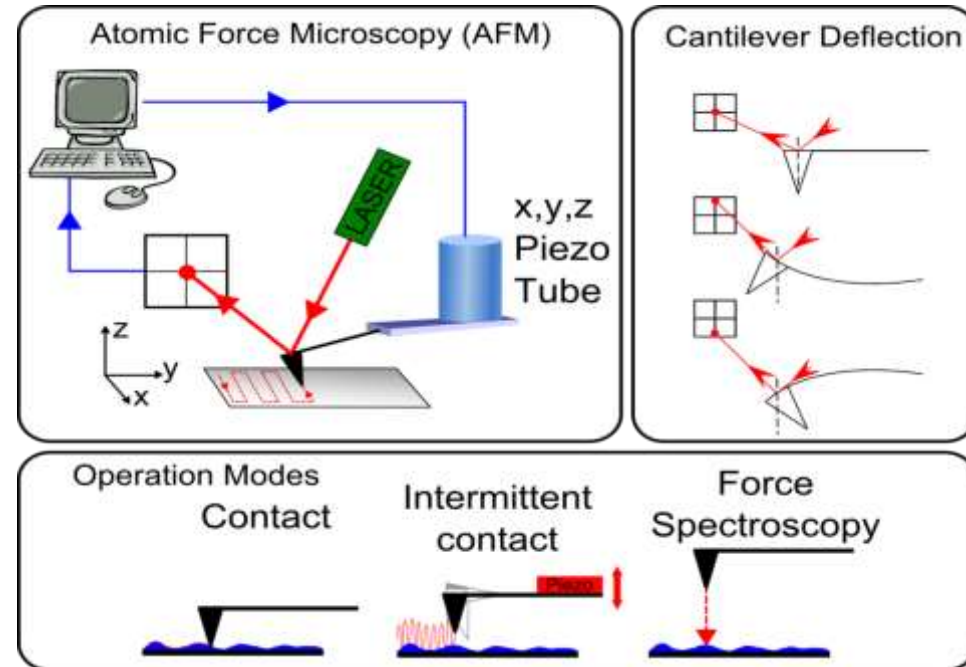
Группе японских физиков под руководством К. Такаянаги на основе результатов экспериментов по просвечивающей электронной микроскопии и электронографии удалось построить свою, так называемую DAS-модель реконструкции 7×7 , которая предполагает реконструкцию и более глубоких слоев в приповерхностной области. DAS-модель хорошо согласуется с результатами большинства экспериментов, выполненных с использованием СТМ, и в настоящее время считается общепринятой.

Мошников В. А., Федотов А. А., Румянцева А. И. Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и нанoeлектронике: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 84 с.

Анализ фрактальности поверхности



$$U_{\text{ЛД}} = \frac{-A}{r^6} + \frac{B}{r^{12}}$$



Сетка с размером ячейки в одну единицу измерения l помещается на поверхность. Это определяет положения вершин набора треугольников. Площади всех треугольников рассчитываются и суммируются чтобы получить приближенную площадь поверхности $S(l)$, соответствующую l . Размер сетки затем уменьшается последовательно в два раза на каждом шаге. Наклон графика $S(l)$ от $\log(1/l)$ при этом соответствует $D_f - 2$.

$$A_{12} = \frac{h_x h_y}{4} \sqrt{1 + \left(\frac{z_1 - z_2}{h_x}\right)^2 + \left(\frac{z_1 - z_2 - 2\bar{z}}{h_y}\right)^2}$$

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

The diagrams illustrate the calculation of surface area. The first diagram shows a grid of points. The second diagram shows a tetrahedron with vertices z_1, z_2, z_3, z_4 and faces $A_{12}, A_{23}, A_{34}, A_{41}$. The third diagram shows a 3D surface mesh.

Методы СТМ-и АСМ наноспектроскопии

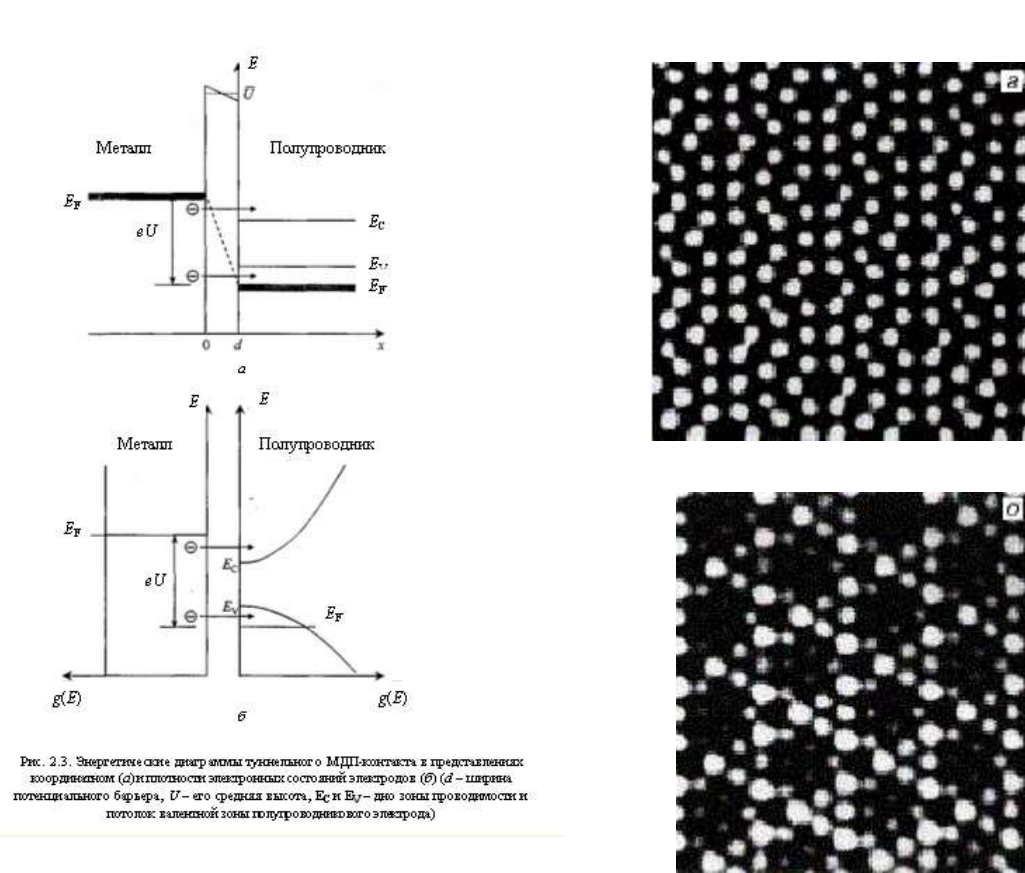
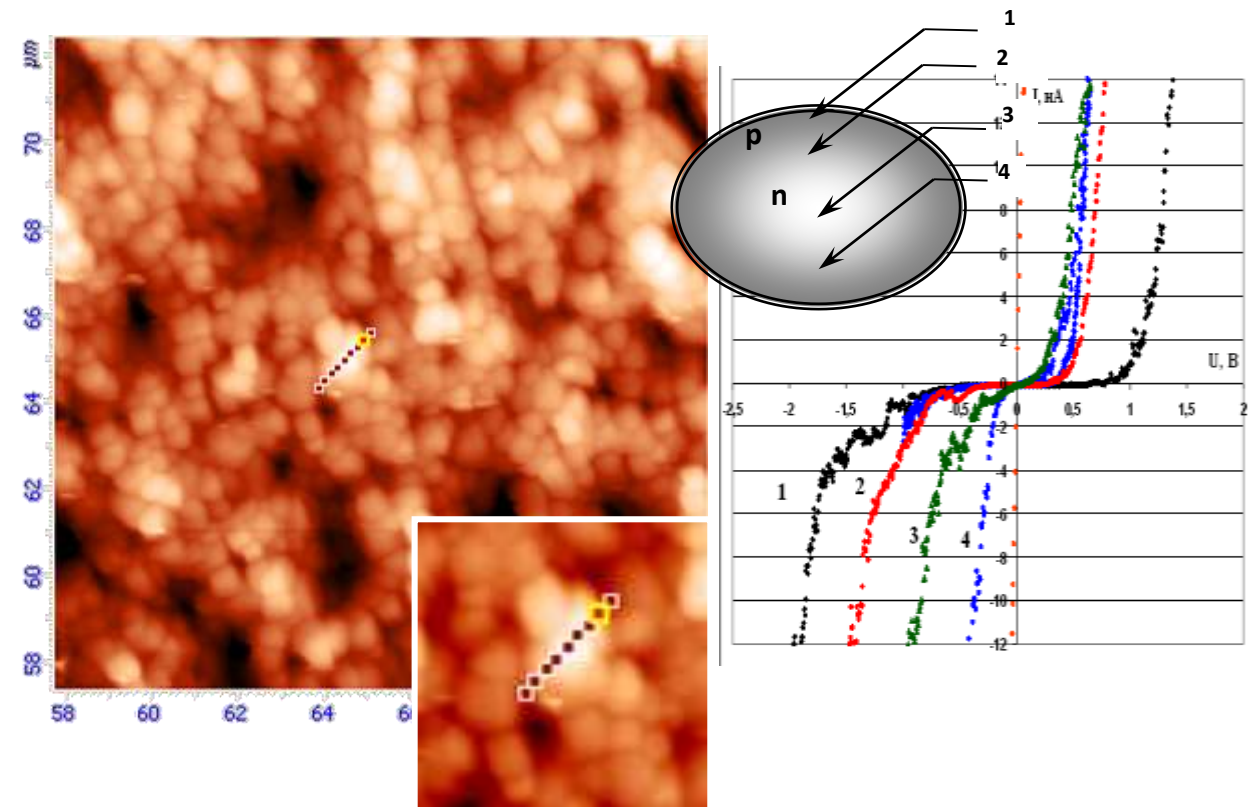


Рис. 2.3. Энергетические диаграммы туннельного МДП-контакта в представлении координатного (а) и плотности электронных состояний электродов (б) (d – ширина потенциального барьера, U – его средняя высота, E_F и $E_{F'}$ – дно зоны проводимости и потенциал валентной зоны полупроводникового электрода)

СТМ-изображение поверхности Si(111) – 7x7 при разных напряжениях смещения: a – $V = +2.4$ В, так называемое изображение заполненных состояний, электроны туннелируют из острия в образец; b – $V = -2.4$ В, изображение незаполненных состояний, электроны туннелируют из образца в острие-зонд



Мошников В. А., Спивак Ю. М. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 80 с.

Мошников В. А. , Федотов А. А., Румянцева А. И. Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и нанoeлектронике: Учеб. пособие, СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 84 с.

Диагностика поверхностных слоев

Новый метод:

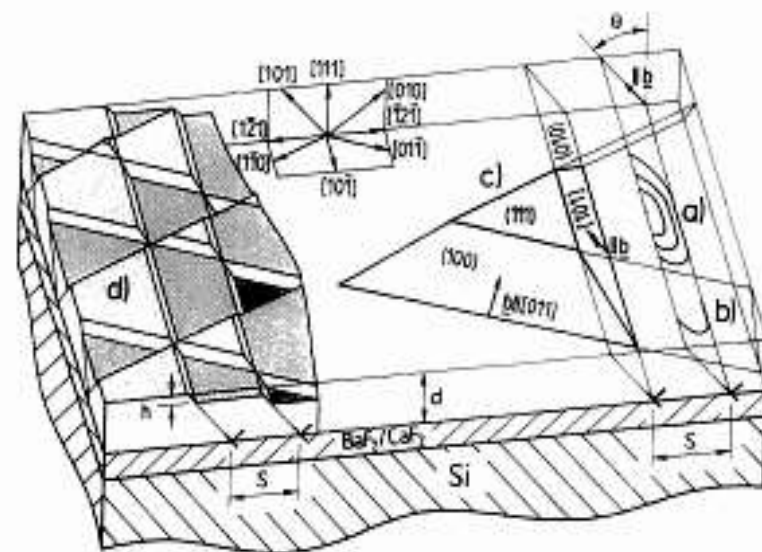
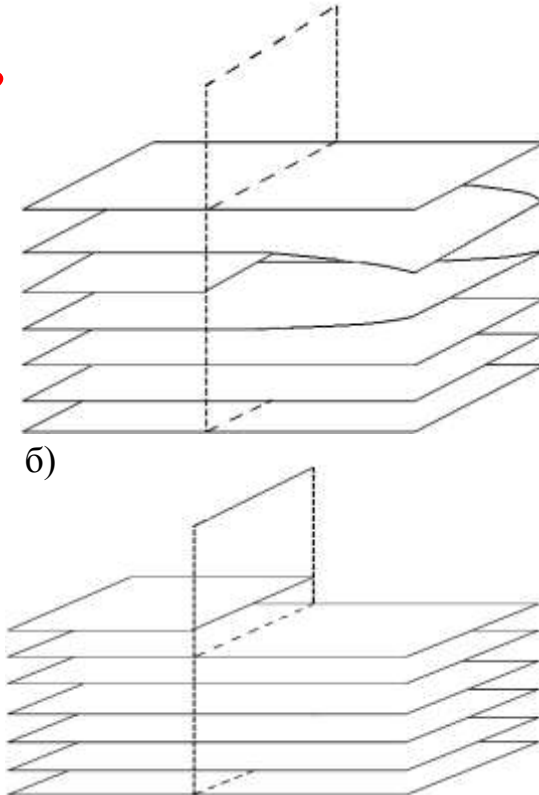
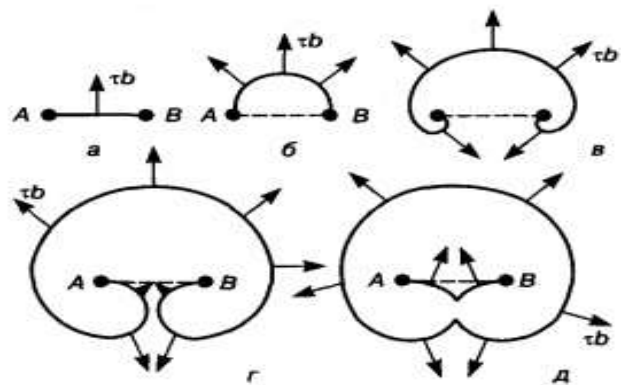
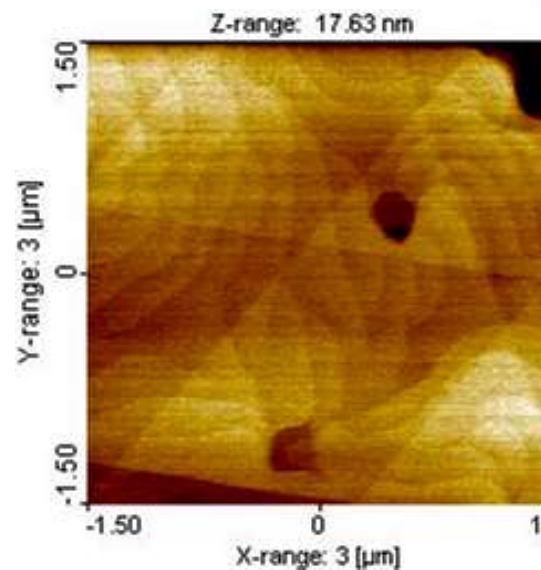
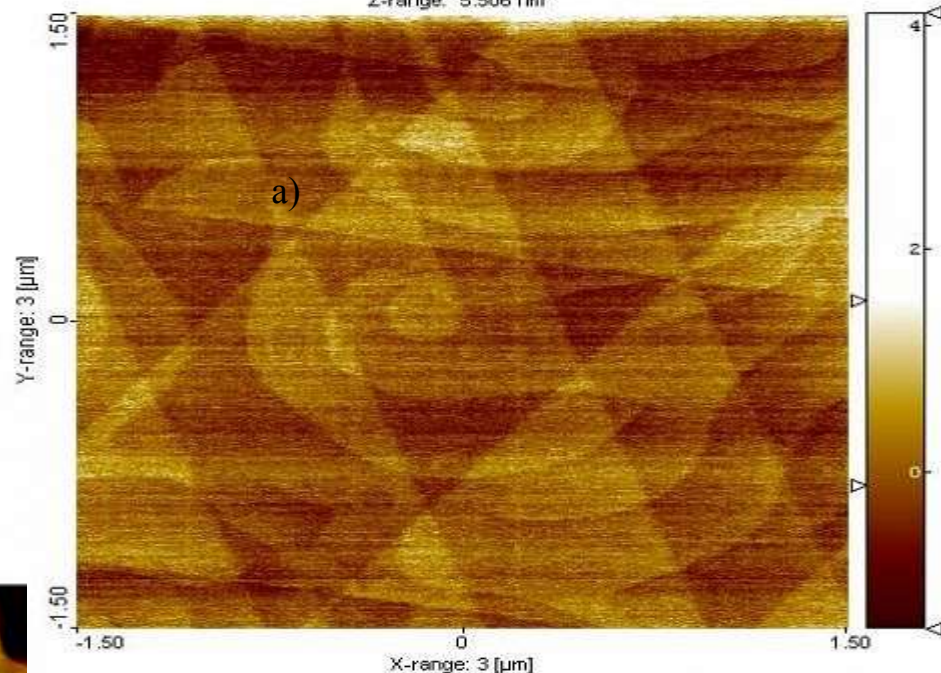
1. Мошников В. А., Спивак Ю. М. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 80 с.

2. Спивак Ю. М. Анализ фотоприемных монокристаллических и поликристаллических слоев на основе халькогенидов свинца методами атомно-силовой микроскопии: дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008.

].

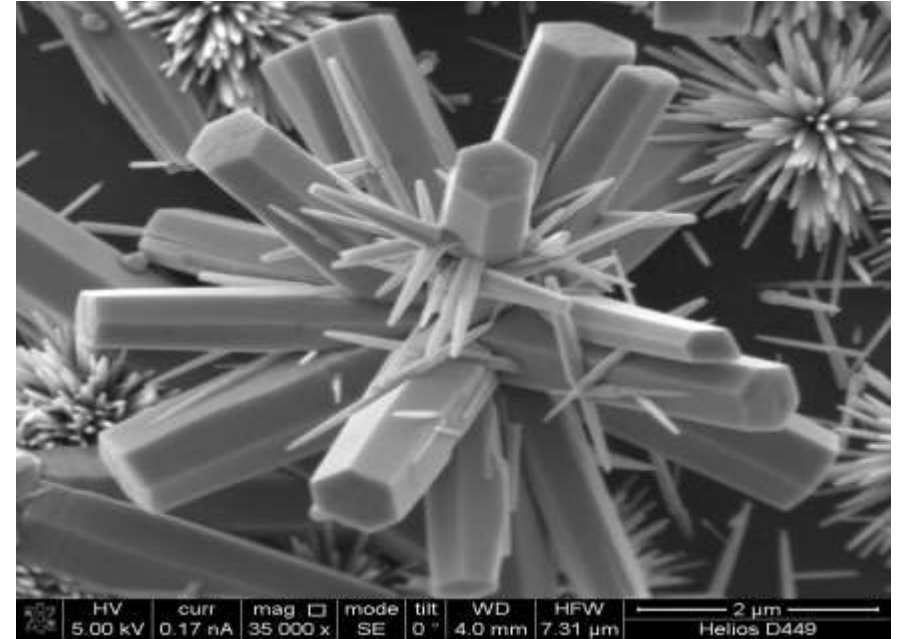
vb63_10sp.sis 1 of 3 Topography forward

Z-range: 5.506 nm



ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.

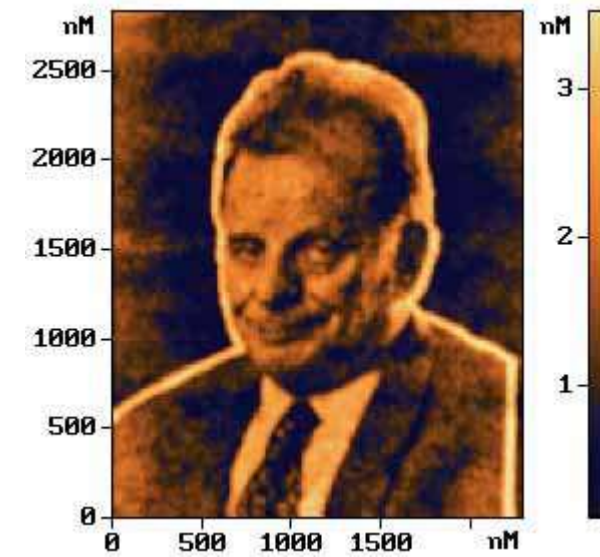
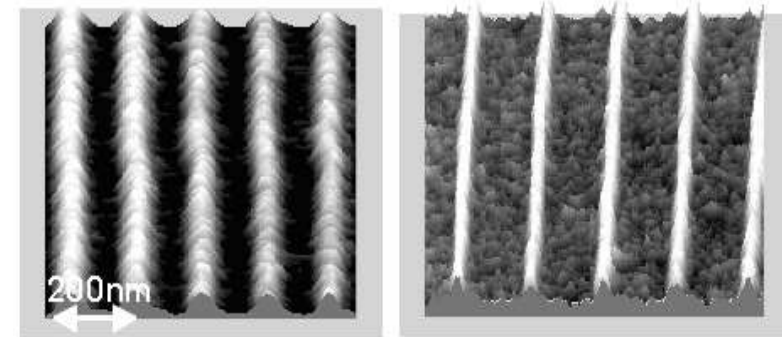
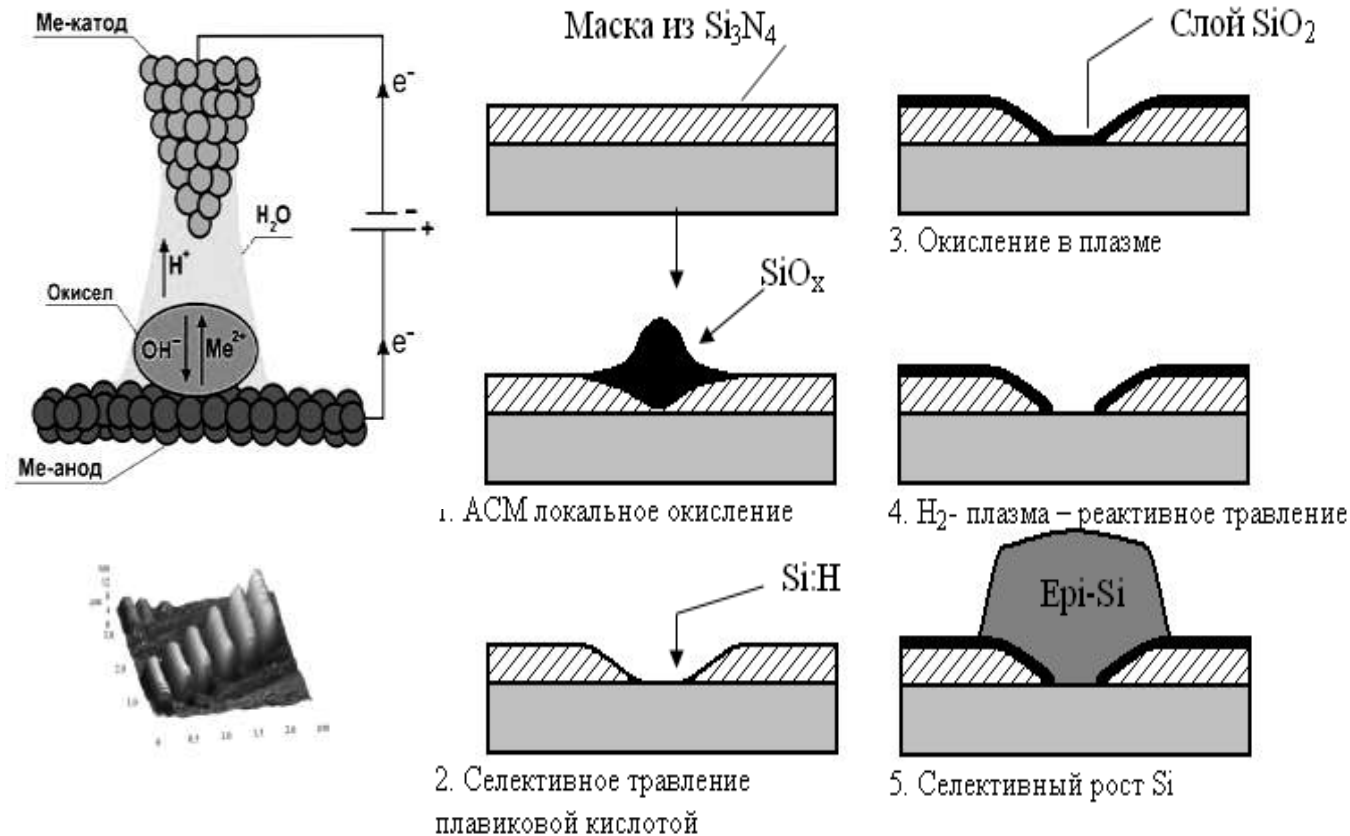


Маска из $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_x$

1. АСМ локальное окисление $\text{Si}:\text{H}$
2. Селективное травление плавиковой кислотой
3. Окисление в плазме Слой SiO_2
4. H_2 - плазма – реактивное травление
5. Селективный рост SiEpi-Si

Метод ЛАО также является довольно эффективным для преобразования тонкой ($< 5 \text{ нм}$) пленки нитрида кремния в диоксид кремния, что было использовано при эпитаксиальном выращивании кремниевых точек методом химического осаждения из газовой фазы

АСМ локальное окисление



Устройства наноэлектроники



Рис. 5.5. Квантовая нить, ограниченная планарными затворами

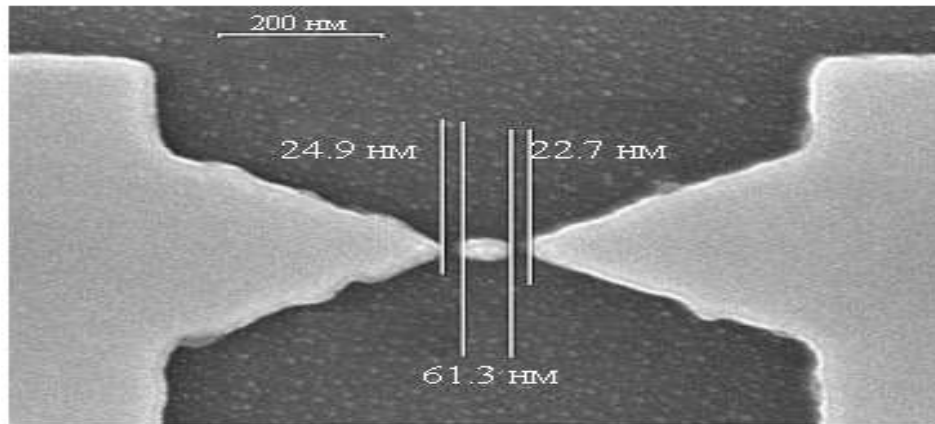
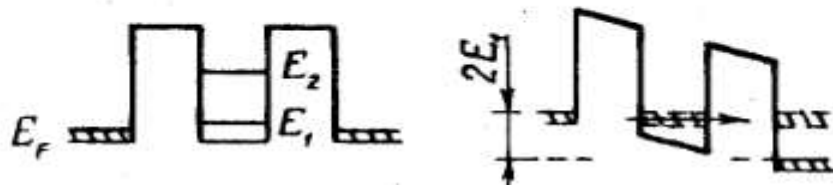


Рис. 5.6. Одноэлектронный транзистор

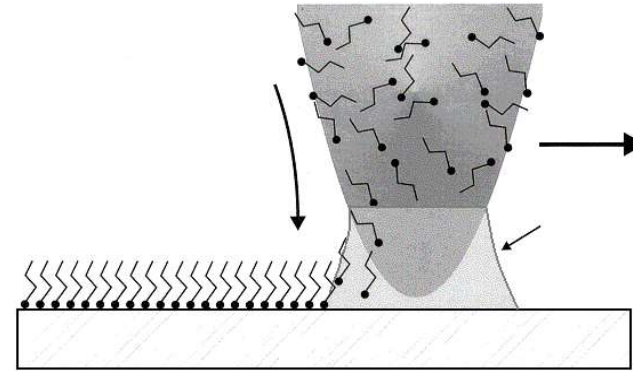


Затворная наноструктура: на поверхности гетероструктуры $\text{Ga}(\text{Al})\text{As}$, методом ЛАО созданы две линии оксида (GaO_x , AsO_x), и таким образом сформирована квантовая нить, ограниченная двумя планарными затворами. Еще одним устройством, в технологическом цикле которого может использоваться метод ЛАО, является одноэлектронный транзистор (

Использование АСМ с проводящей иглой имеет преимущество по сравнению с СТМ, т.к. процессы "экспозиции" и визуализации полученного рисунка разделены, что гарантирует невнесение искажений (дополнительного "экспонирования") при считывании. Кроме того, при использовании СТМ контроль расстояния игла-поверхность затрудняется по мере нарастания оксидного слоя из-за неоднозначной связи между туннельным током и расстоянием.

Перьевая нанолитография (Dip-pen nanolithography)

- Впервые была предложена в лаборатории Чада Миркина, этот метод базируется на использовании зонда АСМ с качестве "перьевой ручки", заправленной чернилами. В качестве чернил используются специальные органические составы (например, октадеканэтиол (ОДТ), растворенный в ацетонитриле), молекулы закрепляются на поверхности за счет явления хемисорбции и образуют стабильную структуру, роль "бумаги" может играть поверхность металла или полупроводника. Для того, чтобы нанести "чернила" на поверхность иглы, необходимо погрузить ее в насыщенный раствор и затем высушить в потоке газа.
- Нанесение рисунка осуществляется транспортировкой молекул с иглы на подложку за счет капиллярных сил, возникающих между острием иглы и тонким слоем воды на поверхности образца. Размер водяного мениска, определяющийся относительной влажностью воздуха, влияет на скорость транспорта молекул и размеры наносимого рисунка. Кроме того, ширина линий зависит от скорости сканирования (чем выше скорость, тем более узкие линии



DPN 5000 System

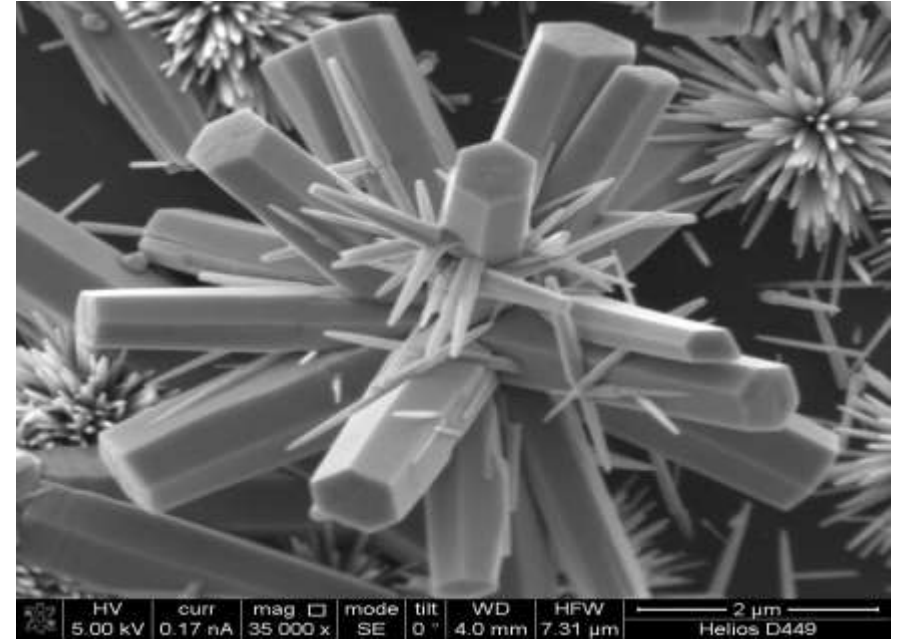


ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
- ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление

6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.

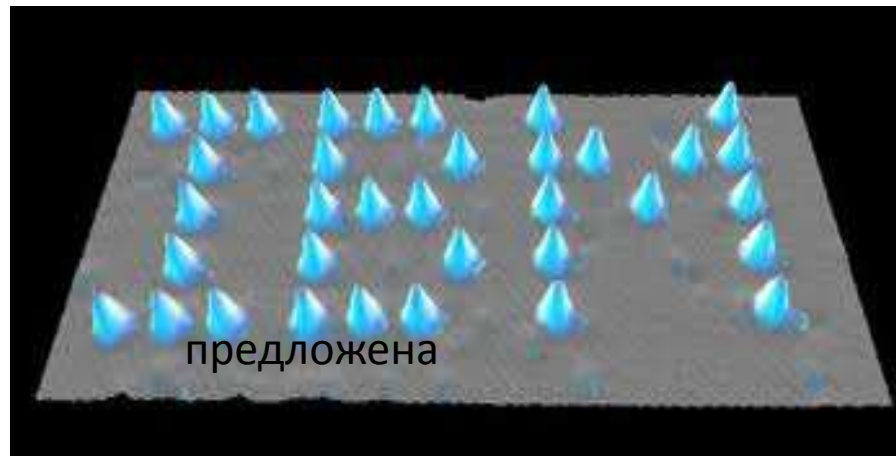
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.



Молекулярное и атомарное манипулирование



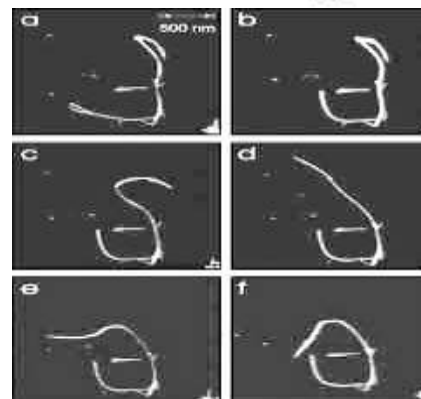
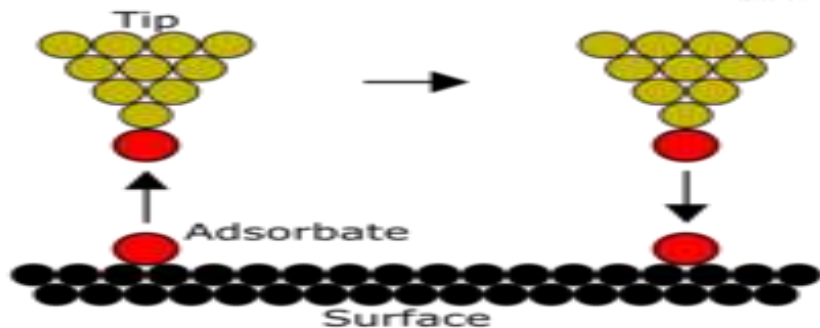
а



б

Рис. 5.14. а) СТМ изображения, отображающие последовательность перемещения атомов Хе; б) 3-мерное изображение логотипа, расстояние между атомами

Хе – 1,3 нм

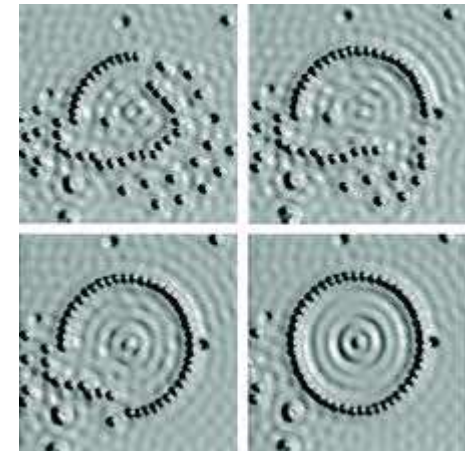
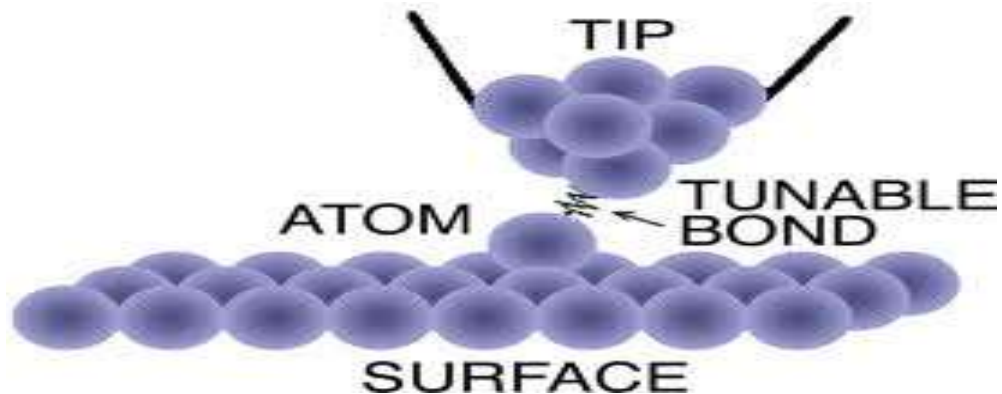


В 1990 г. ученые из исследовательского центра IBM в Сан-Хосе (Калифорния), *Дональд М. Эйглер и Эрхард К. Швейцер* сообщили миру о реализованной ими возможности манипулировать отдельными атомами, размещая их в заданном порядке. Иллюстрацией послужила надпись "IBM", сложенная из 35 атомов Хе на поверхности Ni(110) (рис. 5.14). Эксперимент, продолжавшийся 22 часа, был выполнен в сверхвысоком вакууме при температуре 4 К с помощью СТМ (спроектированного первоначально для определения собственного колебательного спектра молекул). Тогда же впервые поатомарно был собран ксеноновый кластер, состоящий из 7 атомов

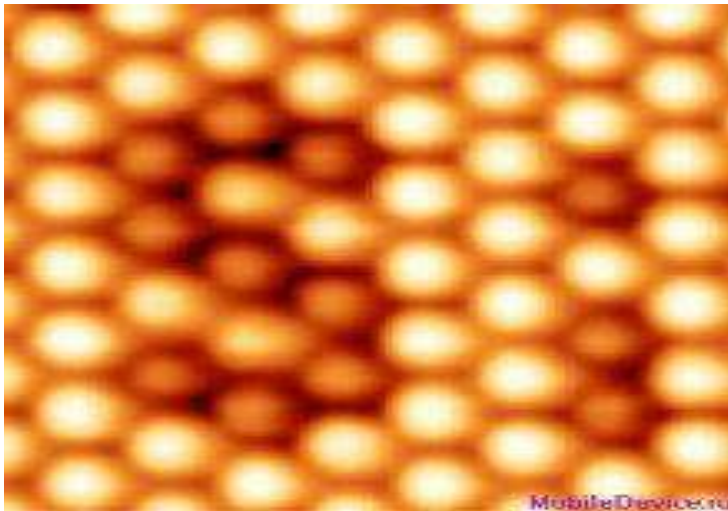
Молекулярное и атомарное манипулирование. Квантовые миражи.

Позже, в 1993 г., Х.П. Лутц и Д.М. Эйглер собрали из 48 атомов железа “квантовый загон” (“quantum corral”), визуализировав волновую природу электрона. Атомы Fe были распределены на поверхности Cu(111) в форме окружности с радиусом 7 нм. Из-за сильного отражения электронов поверхностного слоя (surface state electrons) от атомов железа, электроны, заключенные внутри “загона”, образуют распределение электронной плотности, согласующееся с таковым для электрона в круглой двумерной потенциальной яме.

В 2000 г. Г.С. Манахаран, Х.П. Лутц и Д.М. Эйглер, используя тот же низкотемпературный СТМ, расположили атом Со в одном из фокусов кобальтового “квантового загона”, собранного в форме эллипса на поверхности Cu(111). В результате в другом фокусе эллипса были детектированы те же электронные состояния (резонанс Кондо), что и у реального атома, его “квантовый мираж”. Были протестированы структуры длиной до 20 нм, причем интенсивность детектируемого сигнала определялась только квантовым состоянием “загона”, и не зависела от расстояния между фокусами. Авторы считают, что устройства, подобные этому, открывают принципиально новые возможности для передачи информации на атомарном (квантово-механическом) уровне.



Атомное перо



Атомарная модификация поверхности полупроводников, в отличие от металлов, не требует использования низкотемпературного СТМ. Уже в 1987 г., оперируя при комнатной температуре, удалось удалить один атом Ge с поверхности Ge(111) путем увеличения напряжения игла-поверхность до -4 В

Писать с помощью атомного пера

Опубликовано [nikst](#) — 21 Октябрь, 2008 - 14:34

Атомное перо: на что способны современные нанотехнологии

До недавнего времени самым знаменитым из проектов в микромире была Тора, целиком написанная на рисовом зернышке, однако теперь команда ученых из **университета японского города Осака** сумела сделать нечто совсем невероятное: **написать буквы «Si» с помощью атомного пера**, заменяющего атомы кремния на атомы олова. Иными словами, теперь возможной стала манипуляция микромиром непосредственно на уровне атомов — один за другим

«Нанозаписка»

Размеры картинki, получившейся в результате, составляют всего 2 x 2 нанометра, что в 40 000 раз уступает сечению человеческого волоса. И если касаться не просто знаменитых, а действительно рекордных по своей малости проектов, то до настоящего момента самая маленькая в мире картинка имела размеры 0,07 x 0,10 миллиметров — безумно гигантский показатель по сравнению с новым достижением. По совести говоря, сегодня японские ученые достигли предела миниатюризации, поскольку само слово «атом» означает «неделимый».

Олег Федоров

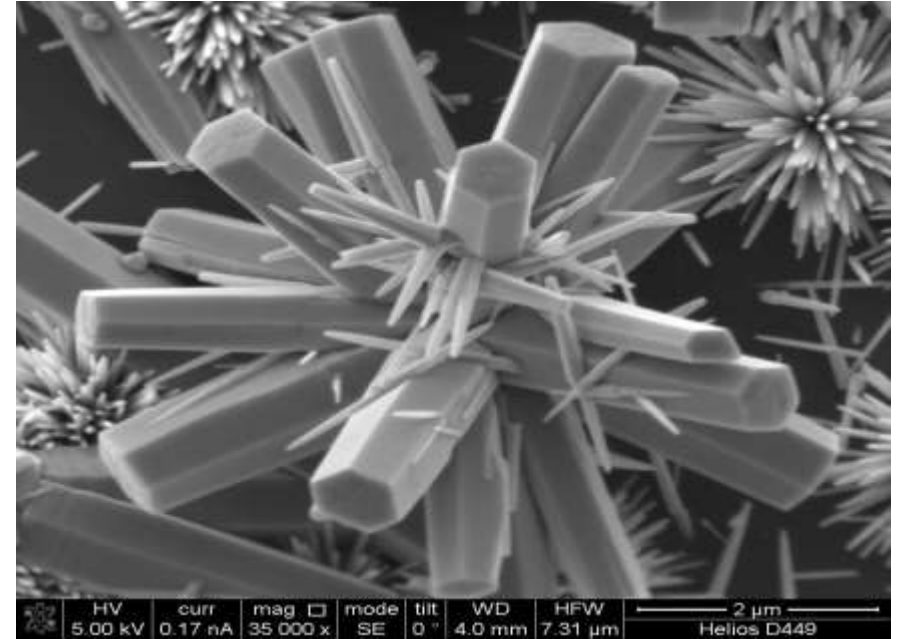
<http://www.mobiledevice.ru/...i-olovo.aspx>

Becker R.S., Golovchenko J.A., Swartzentruber B.S. Atomic-Scale Surface Modifications using a Tunneling Microscope // Nature. 1987. Vol. 325. P. 419-421

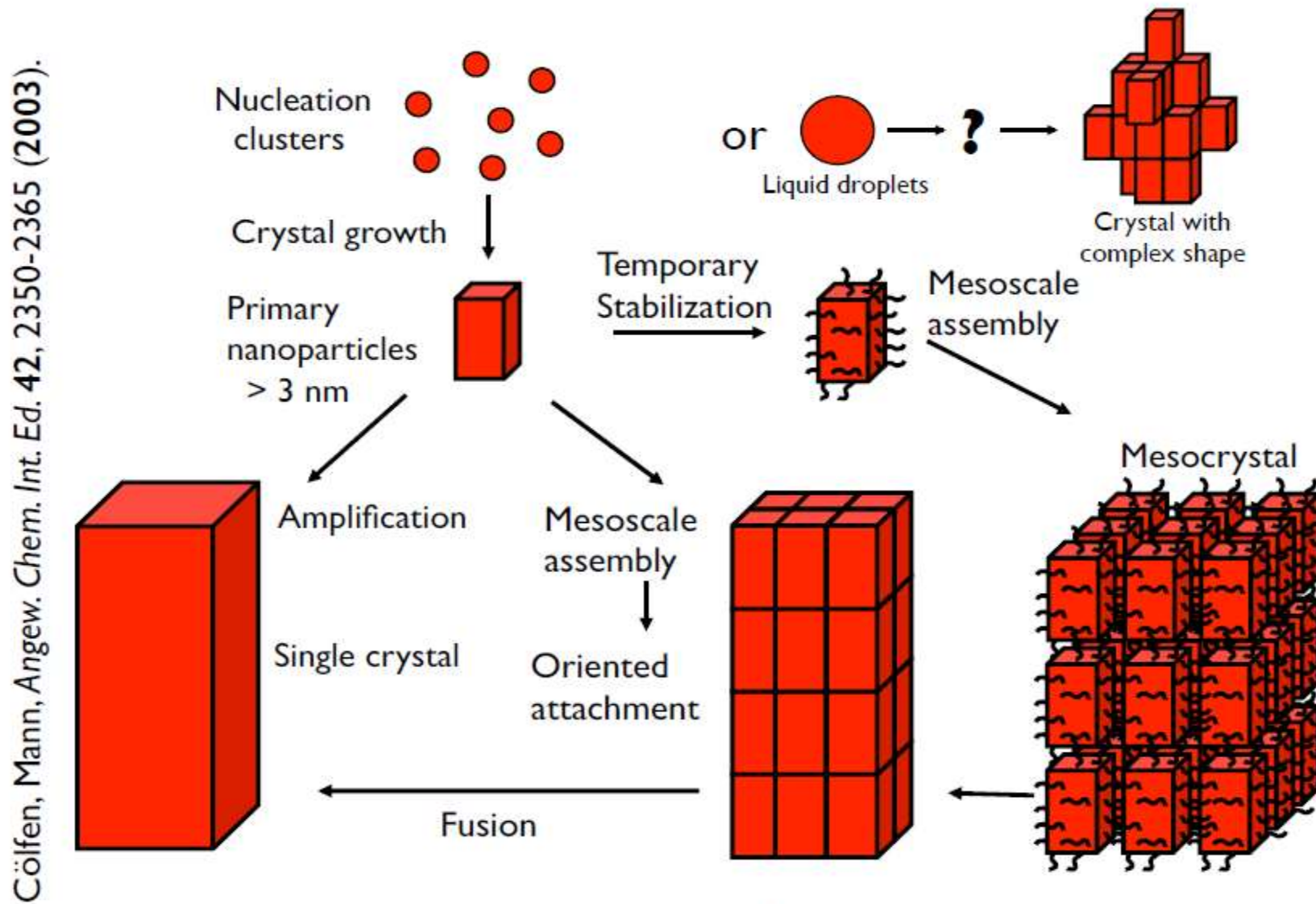
Manipulation of Adsorbed Atoms and Creation of New Structures on Room-Temperature Surfaces with a Scanning Tunneling Microscope / Whitman L.J., Stroscio J.A., Dragoset R.A., and others // Science. 1991. Vol. 251. P. 1206-1210.

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.



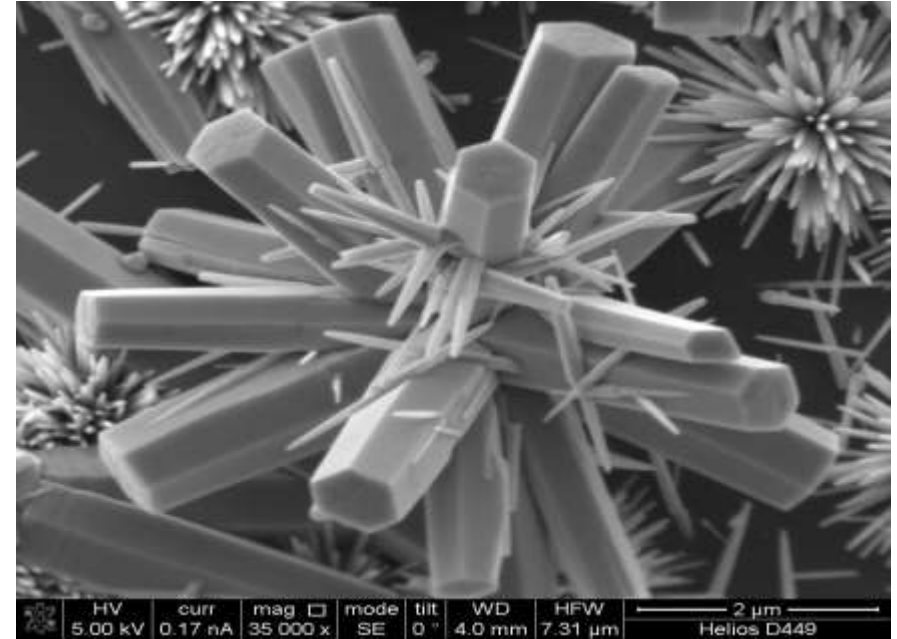
Нетрадиционные механизмы образования кристаллов



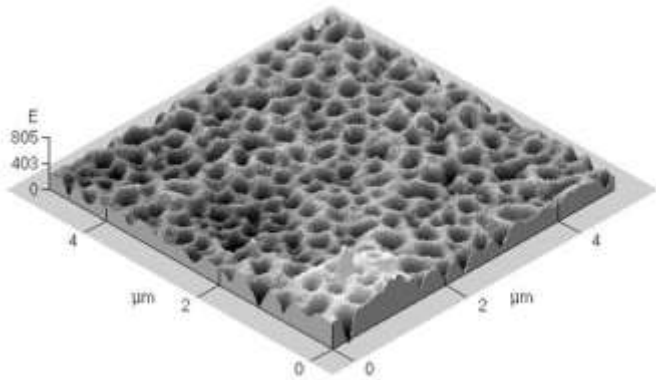
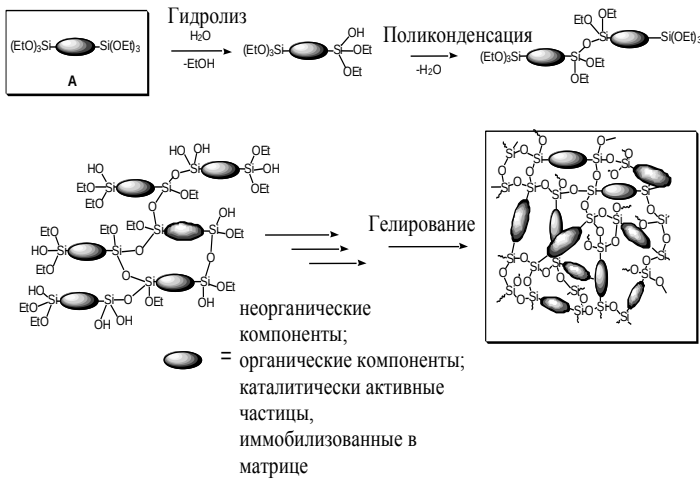
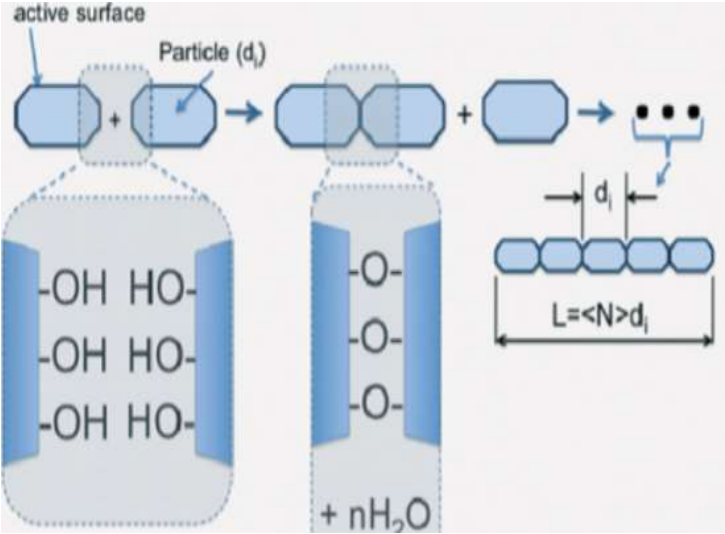
Cölfen, Mann, Angew. Chem. Int. Ed. 42, 2350-2365 (2003).

ПЛАН ЛЕКЦИИ

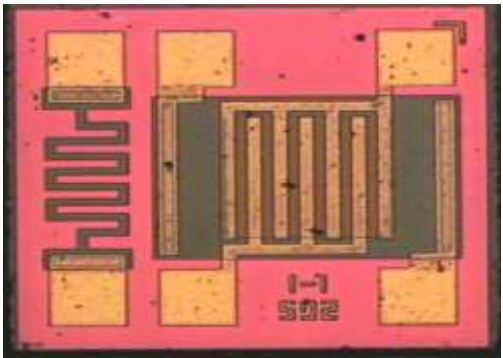
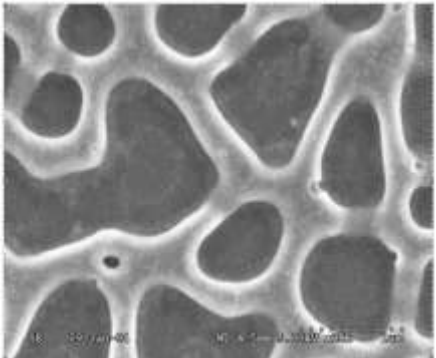
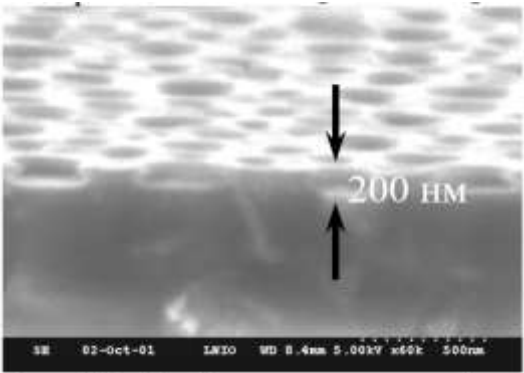
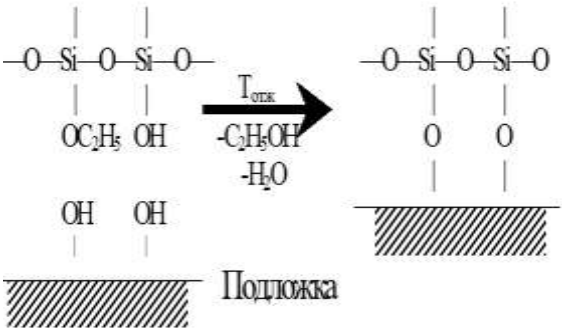
1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. **Механизм сращивания через кислородные мостики**
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.



Элементы атомно-молекулярной архитектуры. Механизм сращивания через кислородные мостики



Микрофотография пленки нанокристаллического материала, содержащего 90%SnO₂ и 10%SiO₂

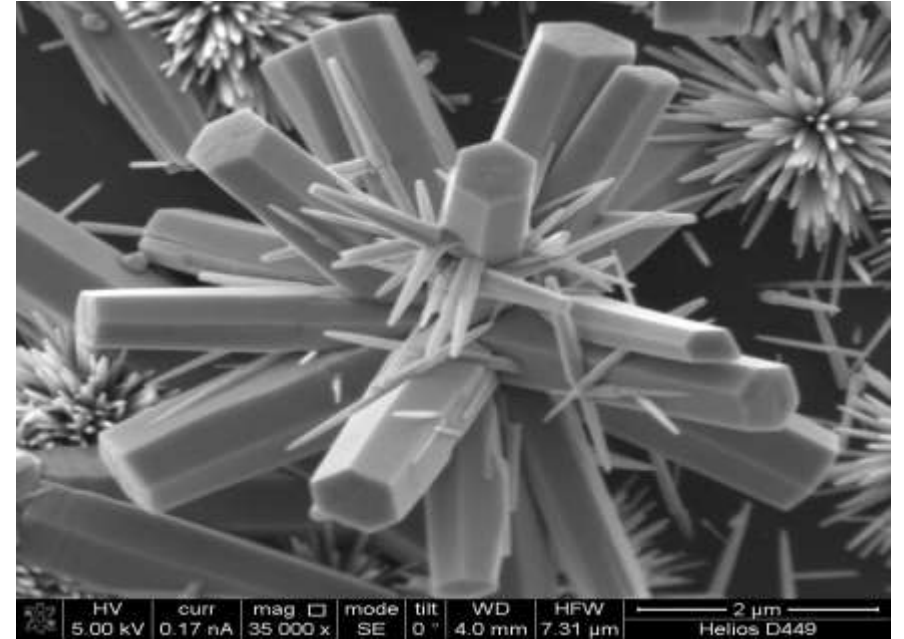


1. Основы золь-гель технологии нанокompозитов / А. И. Максимов, В. А. Мошников, Ю. М. Таиров, О. А. Шилова // СПб.: Элмор, 2007.

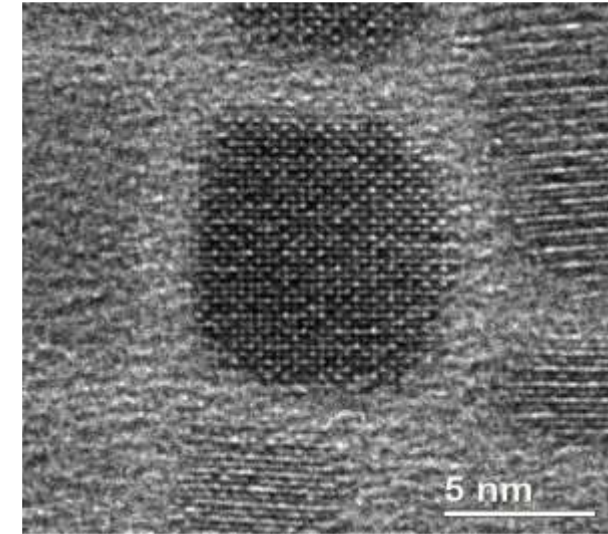
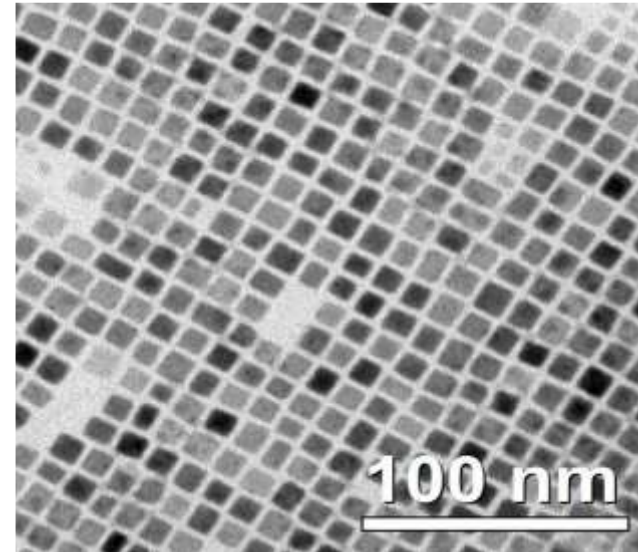
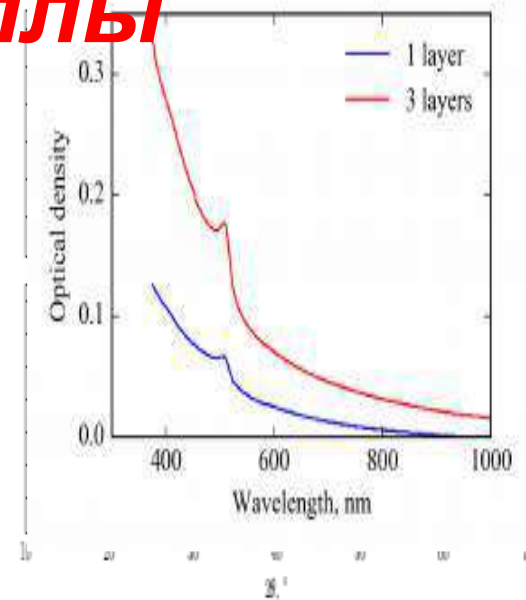
2. Максимов А. И. Газочувствительные полупроводниковые нанокompозиты на основе диоксида олова, сформированные методами золь-гель технологии: Дис. ... канд. физ.- мат. наук. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2005.

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. **Ориентированное сращивание. Мезокристаллы**
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.

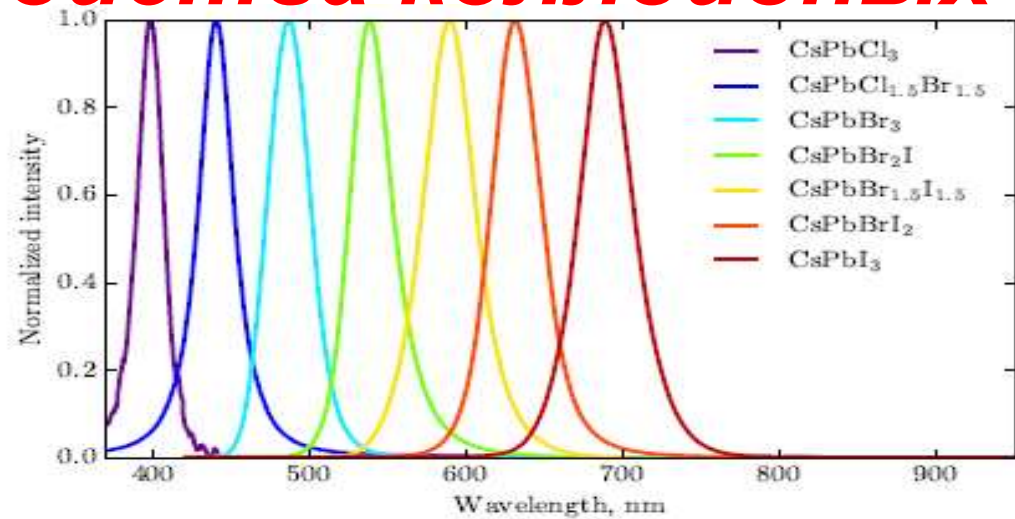


Ориентированное сращивание. Мезокристаллы

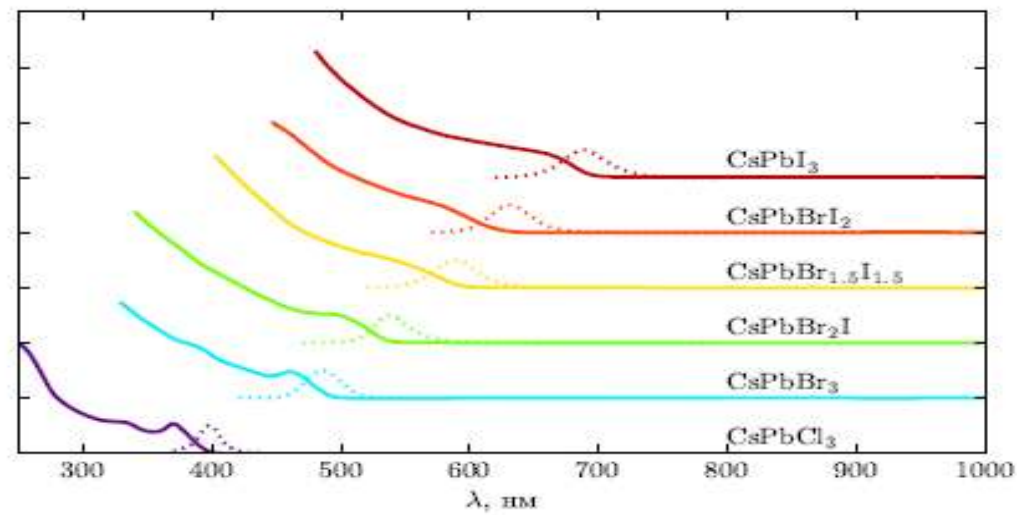


Изображения просвечивающей электронной микроскопии мезакристаллического слоя нанокристаллов CsPbBr_3 были получены на микроскопе JEM-2100F при ускоряющем напряжении 200 кВ и разрешении 0.19 нм. Образцы для измерений были приготовлены путем погружения медной сетки с ультратонкой графеновой бумагой в коллоидный раствор, содержащий наночастицы. Из изображений видно, что форма индивидуальных нанокристаллов близка к кубической, а толщина светлых прослоек коррелирует с длиной молекул, покрывающих квантовые точки — олеиновой кислоты и олеиламина. Контраст изображения определяется тем, что, в отличие от органической оболочки, основной материал нанокристалла состоит из существенно более тяжелых элементов.

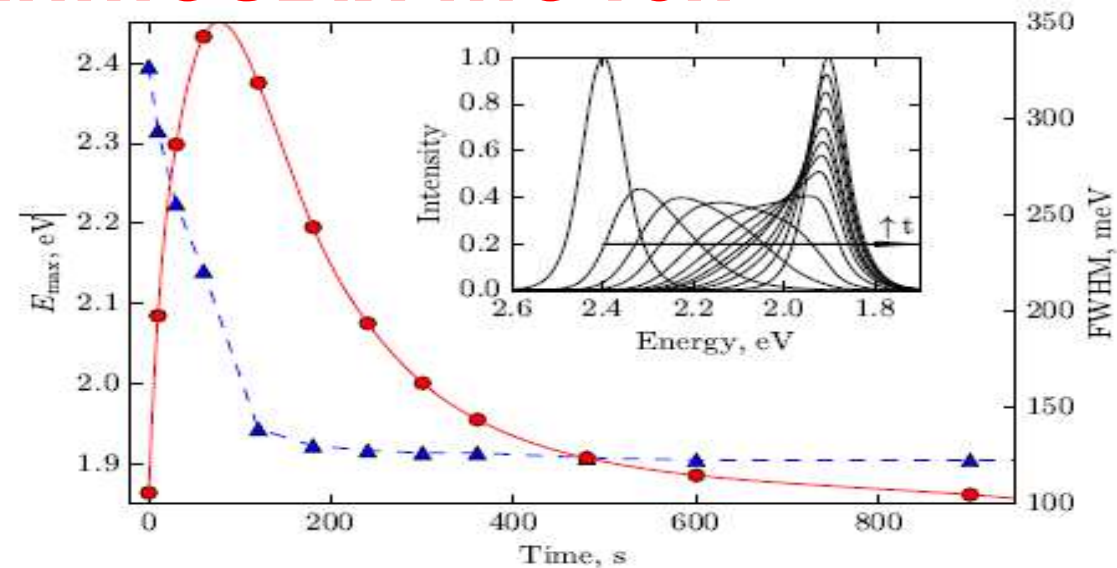
Свойства коллоидных квантовых точек



(а) Спектры ФЛ КТ CsPbX_3



(б) Спектры поглощения КТ CsPbBr_3



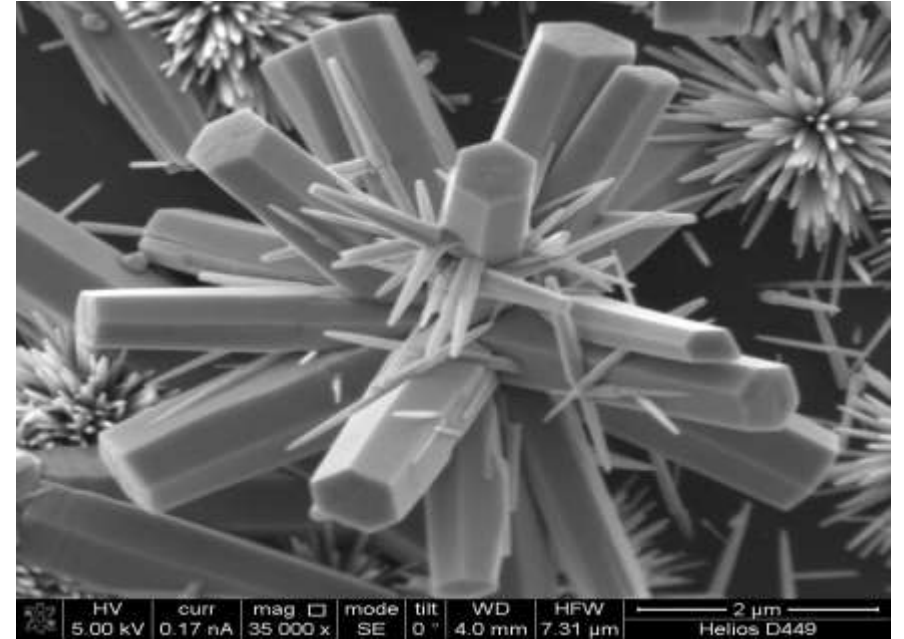
(в) Временные зависимости E_{max} ($-\triangle-$) и полуширины FWHM ($-\bullet-$) при анионном замещении



(г) Фотолюминесценция нанокристаллов в свете УФ-лампы

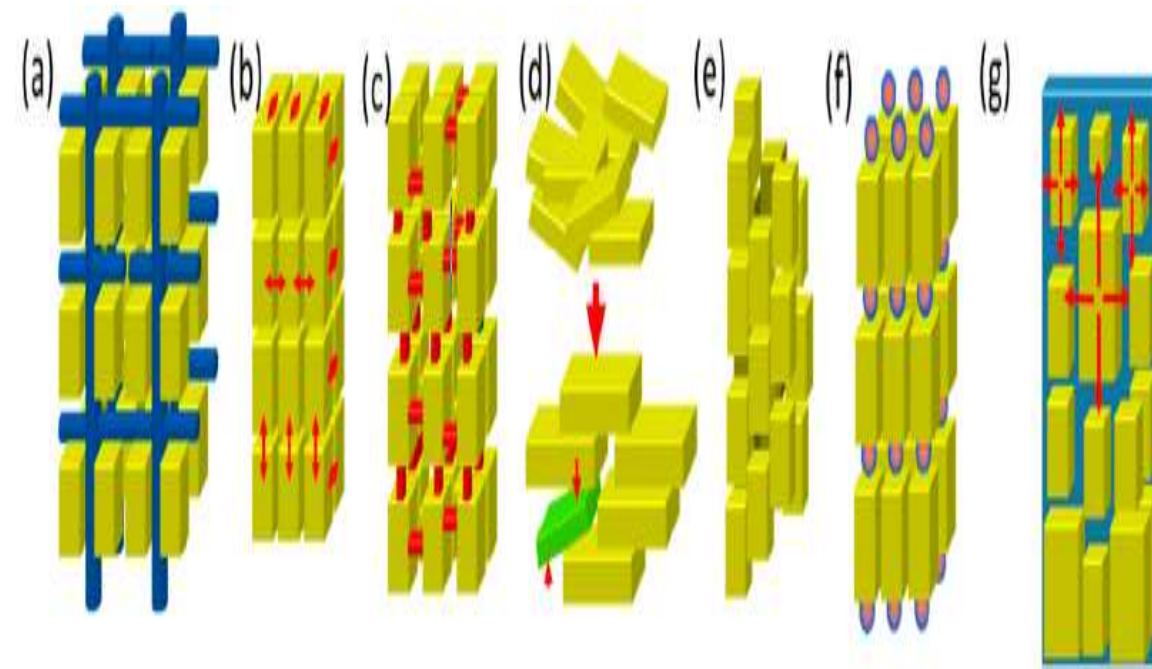
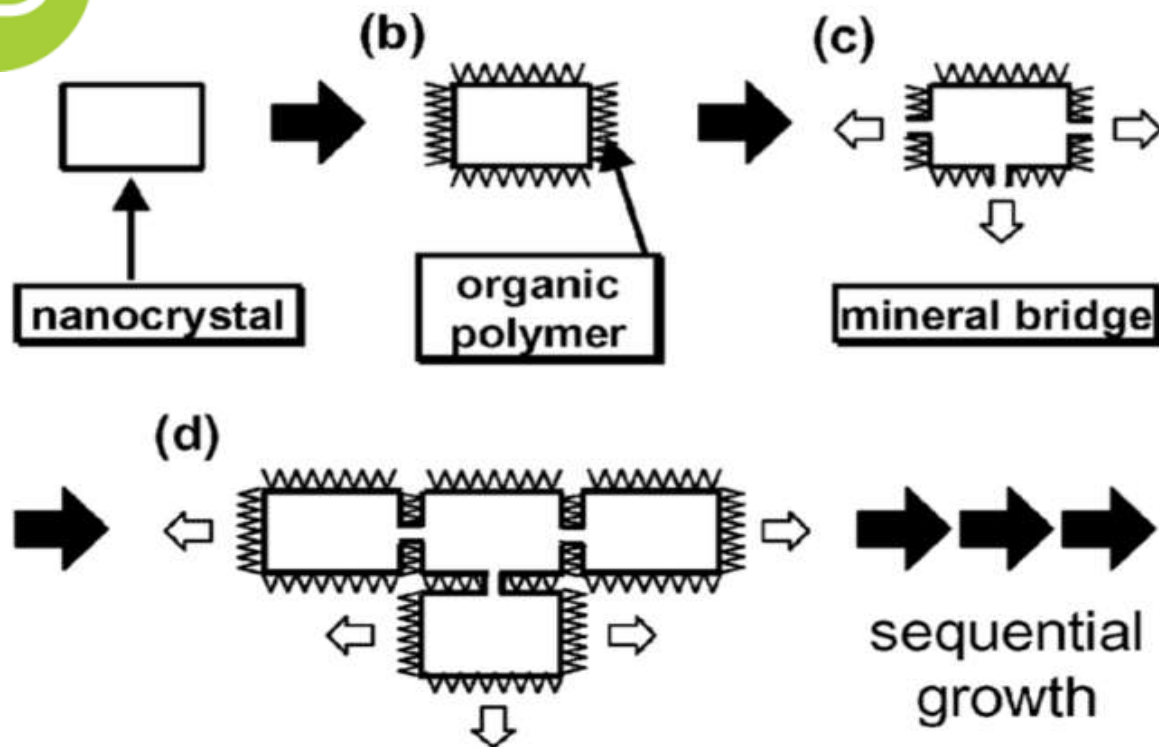
ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. **Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами**
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.



Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами

iD



Elena V. Sturm (née Rosseeva) * and Helmut Cölfen
Mesocrystals: Past, Presence, Future Crystals
2017, 7(7), 207

Oaki, Kotachi, Miura, Imai, *Adv. Funct. Mater.* **16**, 1633-1639 (2006).

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности

5. АСМ дизайн- локальное окисление

6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.

7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов

Элементы атомно-молекулярной архитектоники.

8. Механизм сращивания через кислородные мостики

8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы

9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами

10. **Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой**

11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка

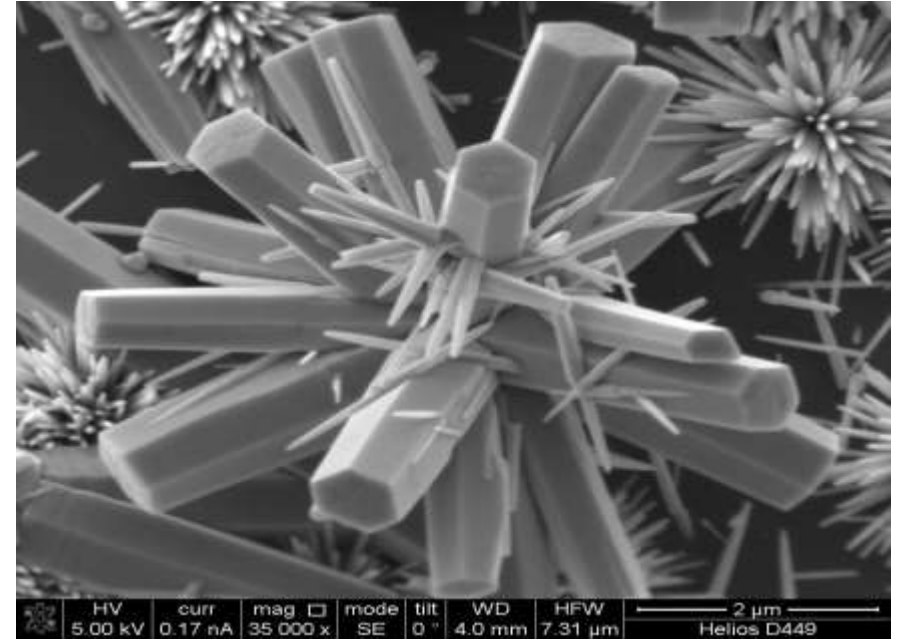
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики

13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой

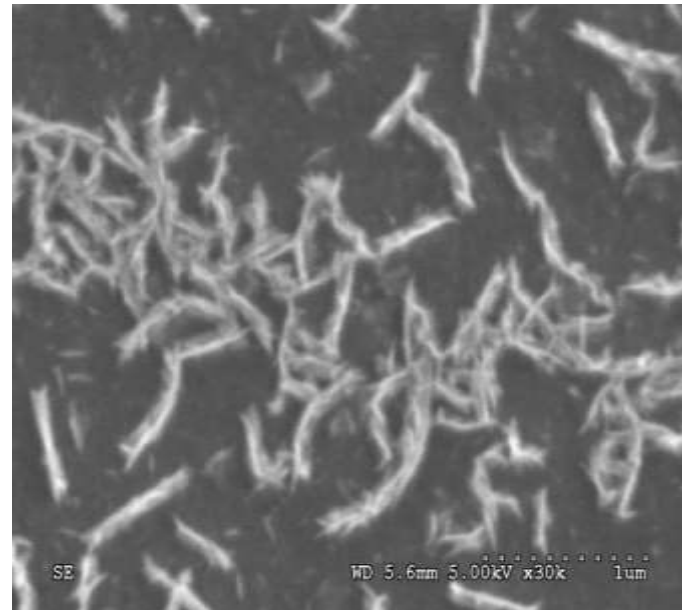
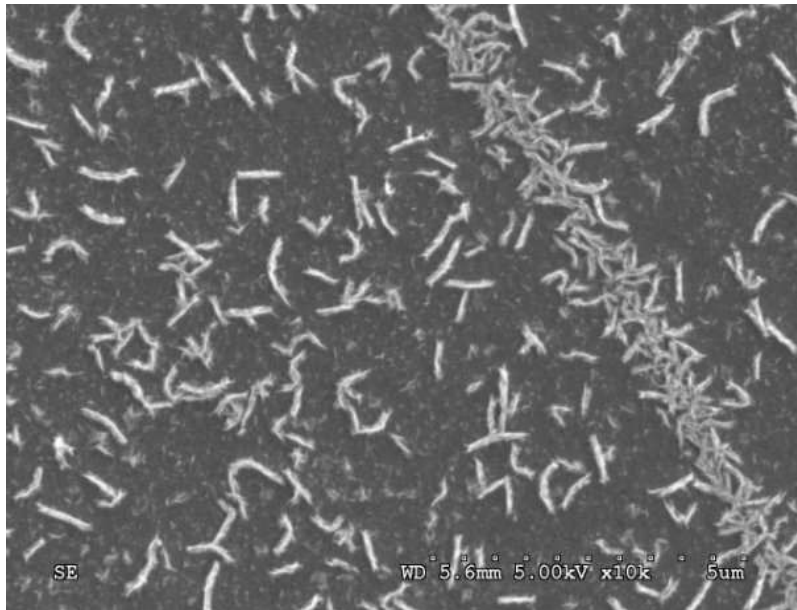
14. Максены

15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур

16. Заключение.



Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой



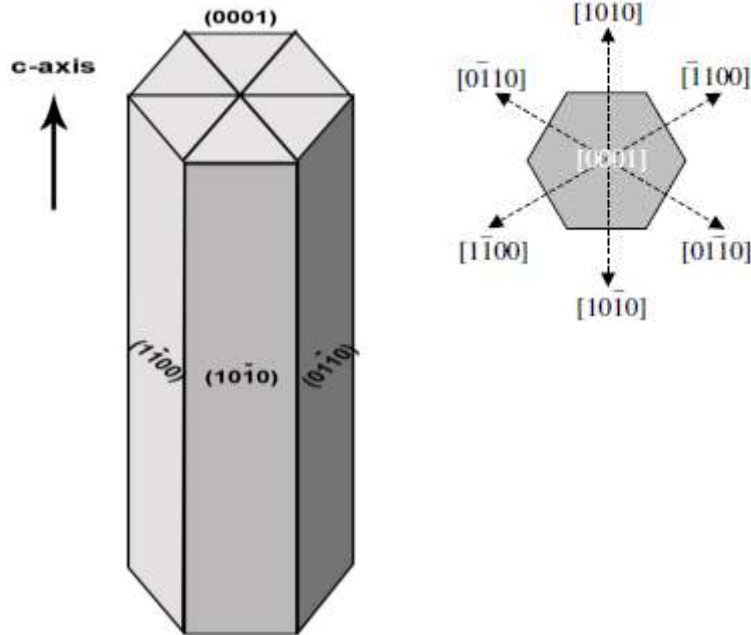
Фрактал Мандельброта-Гивена

Мошников В.А., Максимов А.И., Александрова О.А. и др. НАНОЛИТОГРАФИЧЕСКАЯ САМОСБОРКА КОЛЛОИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ // Письма в Журнал технической физики. 2016. Т. 42. № 18. С. 81-87.

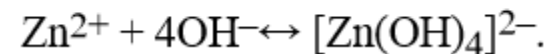


Бесконечный перколяционный кластер на пороге протекания и несколько возможных состояний кластеров ограниченного размера

Атомно-молекулярный дизайн на примере роста ограниченных стержневых нанокристаллов ZnO



Реакции, протекающие в растворе в процессе синтеза, приводят к минимизации свободной энергии всей системы. Поскольку наиболее высокоэнергетическими поверхностями оксида цинка являются полярные плоскости (0001), адсорбция образовавшихся в результате гидролиза прекурсора молекул происходит на этих полярных плоскостях с ростом наноструктур в направлении оси с. В частности, адсорбция молекул происходит за счет образования монослоя, имеющего противоположную полярность уже существующей плоскости (0001). Таким образом, на поверхность, завершённую заряженными атомами Zn^{2+} , осаждаются гидроксиды, образованные из прекурсоров в водном растворе с эквимольными концентрациями гексаметилентетрамина (ГМТА, $(CH_2)_6N_4$):

$$Zn^{2+} + 3OH^- \leftrightarrow [Zn(OH)_3]^-$$


[ФОРМИРОВАНИЕ ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ РИСУНКОВ
ОГРАНИЧЕННЫМИ МИКРОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА НА
КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ](#)

Бобков А.А., Пронин И.А., Мошников В.А., Якушова Н.Д.,
Карманов А.А., Аверин И.А., Сомов П.А., Теруков Е.И.

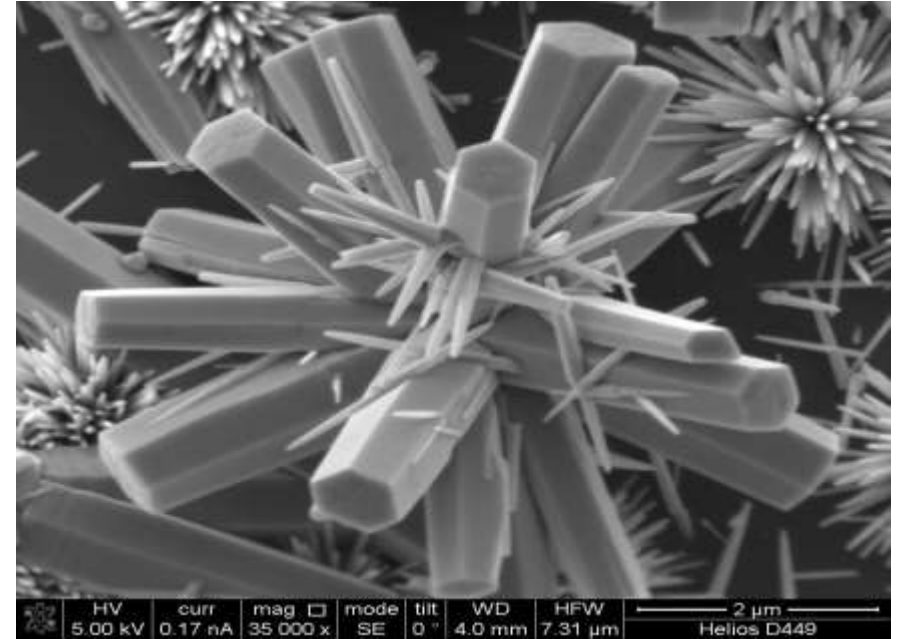
[Письма в Журнал технической физики](#). 2018. Т. 44. № 15. С. 87-92.

Далее по реакции: $[Zn(OH)_4]^{2-} \leftrightarrow ZnO + H_2O + 2OH^-$

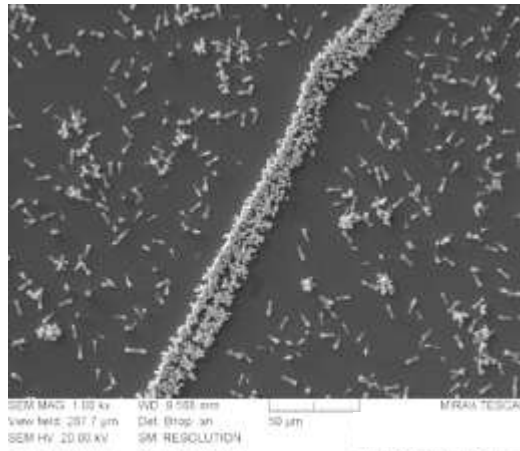
образуется ZnO. В итоге, плоскость (0001) вновь завершается ионами Zn^{2+}
(ГМТА служит источником гидроксильной группы OH^-)

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. **Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка**
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.

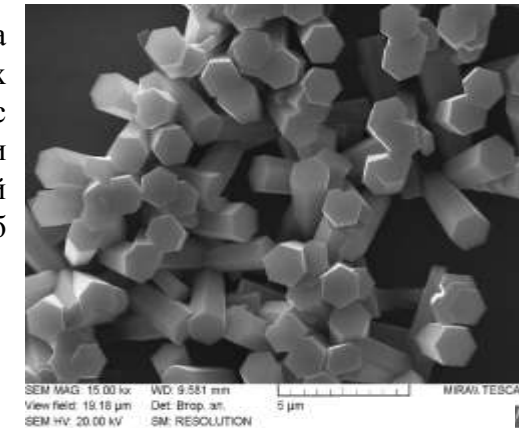


Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка

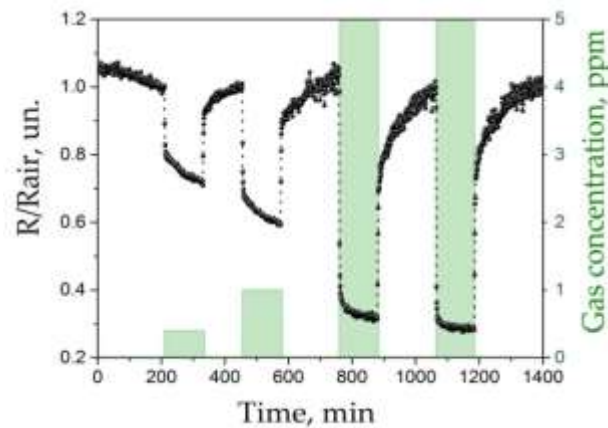


Зародышевый слой из наночастиц оксида цинка преимущественно осаждается на предварительно созданных участках неоднородности кремниевой подложки с измененной поверхностной энергией, что позволяет при дальнейшем гидротермальном росте управлять геометрией создаваемых массивов наностержней оксида цинка. Способ перспективен для сенсоров с пороговой чувствительностью.

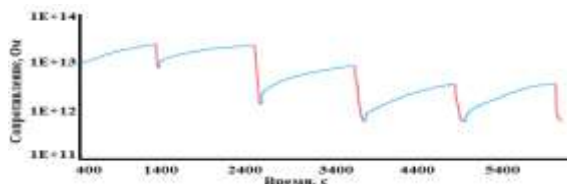
Bobkov A. A. et al. Creating Lithographic Pictures Using Faceted Zinc Oxide Microparticles on a Silicon Substrate //Technical Physics Letters. – 2018. – Vol.44. – №. 8. – pp. 694-696.



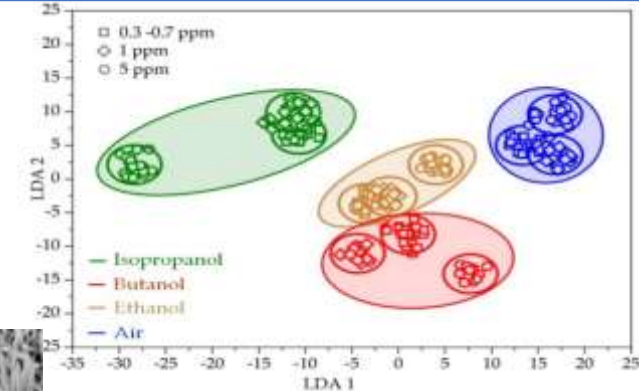
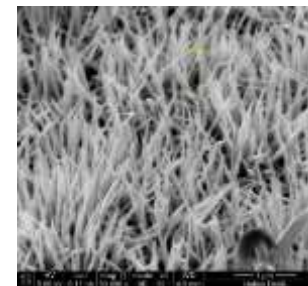
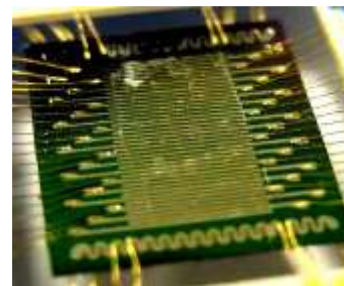
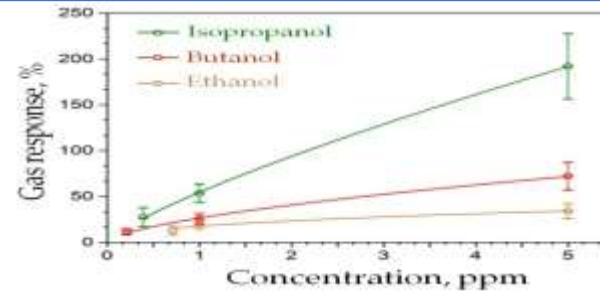
Мультисенсорный чип на основе наностержней оксида цинка



Температура детектирования 400 С



Температура детектирования 23 С



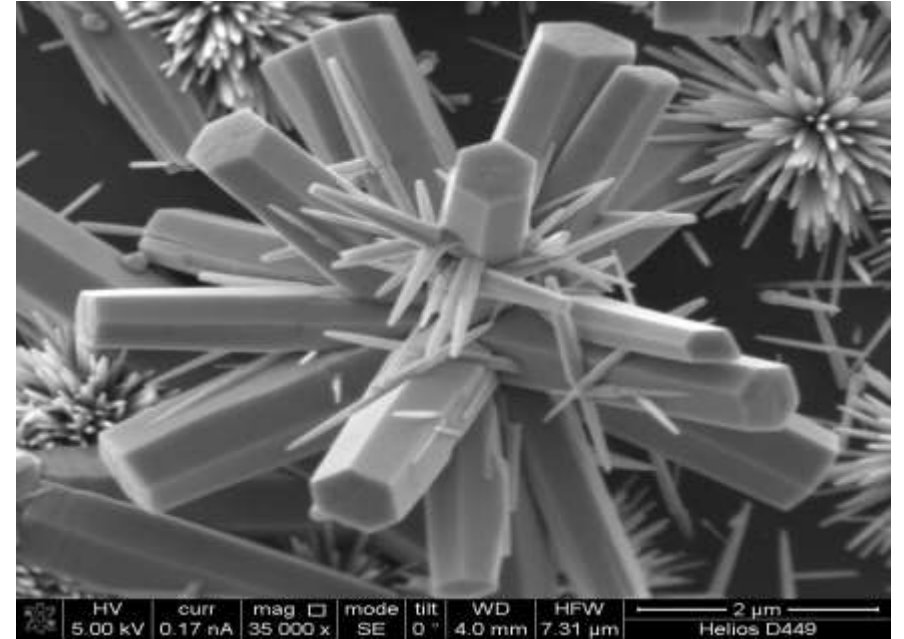
The Multisensor Array Based on Grown-On-Chip Zinc Oxide Nanorod Network for Selective Discrimination of Alcohol Vapors at Sub-ppm Range. Bobkov A. et al. //Sensors. – 2019. Vol. 19. – №. 19. – p. 4265.

Synthesis and Study of Zinc Oxide Layers Sensitized by Colloidal Nanocrystals //2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). – IEEE, 2019. I

Разработаны сенсорные слои на основе наностержней ZnO, сенсibilизированные коллоидными нанокристаллами AgInS₂, функционирующие без нагрева

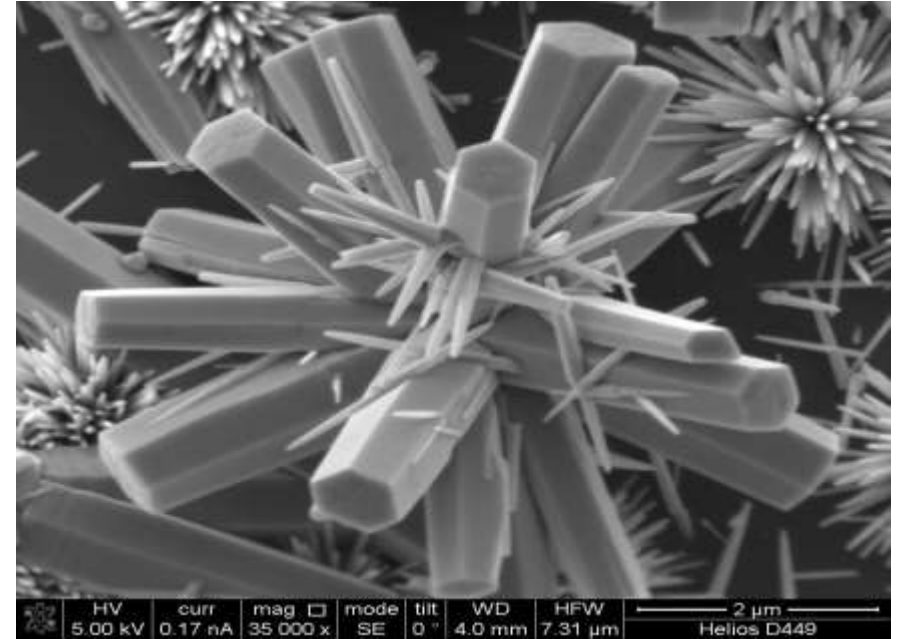
ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. *Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла*
3. *Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации*
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. *СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности*
5. *АСМ дизайн- локальное окисление*
6. *Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.*
7. *Нетрадиционные механизмы образования кристаллов*
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. *Механизм сращивания через кислородные мостики*
8. *Ориентированное сращивание. Мезокристаллы*
9. *Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами*
10. *Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой*
11. *Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка*
12. **Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики**
13. *Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой*
14. *Максены*
15. *Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур*
16. *Заключение.*

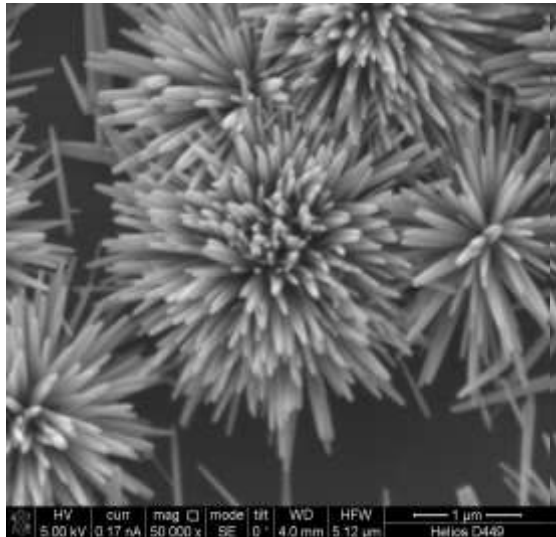
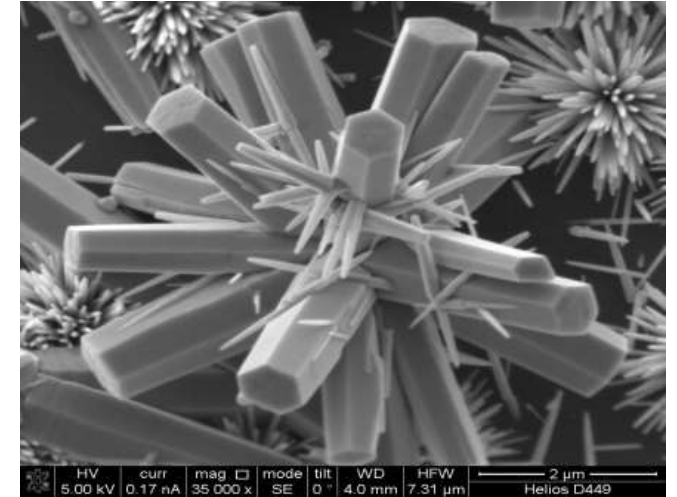
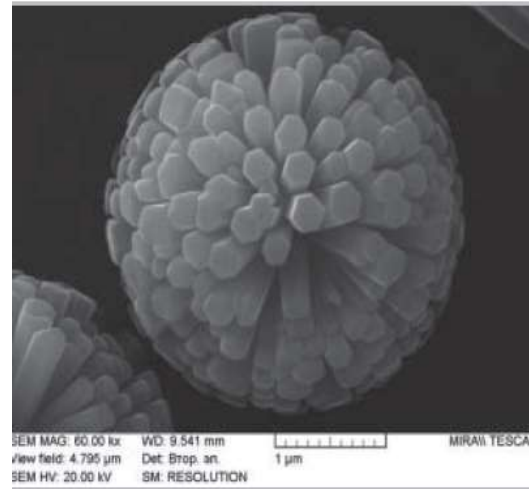
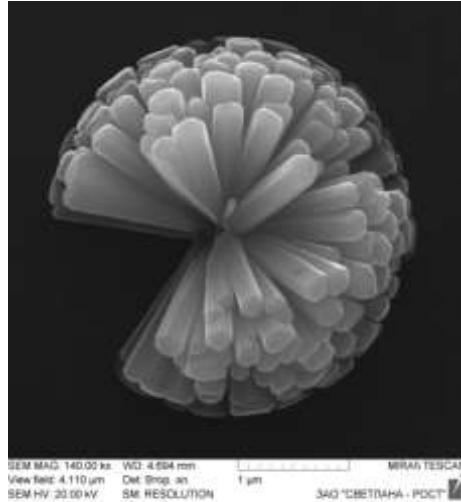
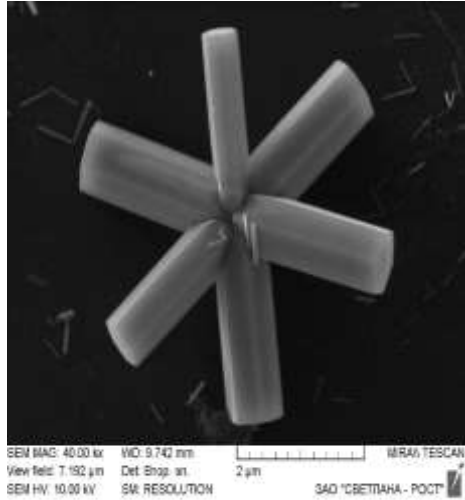


ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. **Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой**
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.



Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики

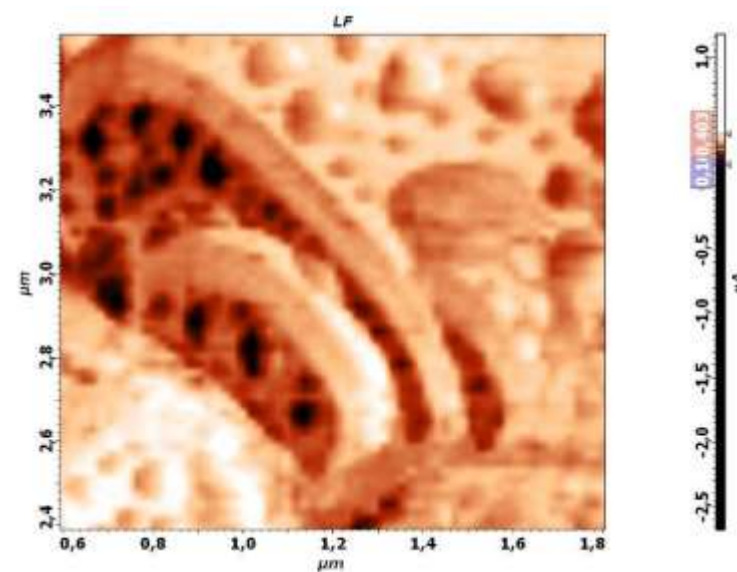
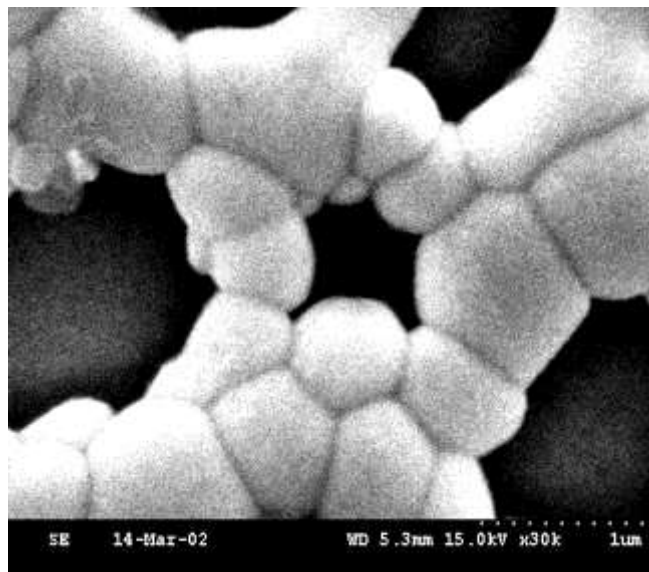
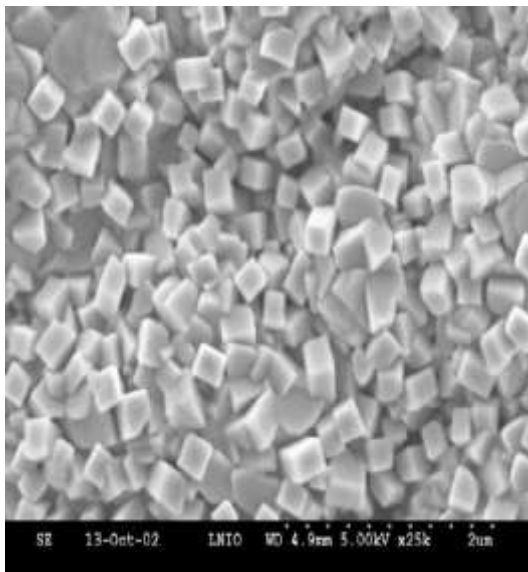


ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ НАНОСТЕРЖНЕЙ ОКСИДА ЦИНКА

Бобков А.А.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина). Санкт-Петербург, 2019

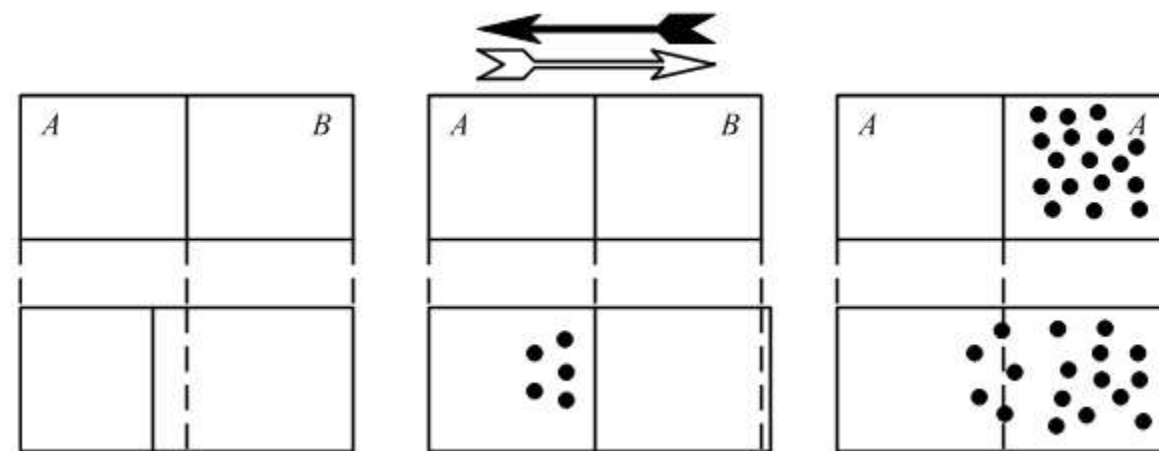
**Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников.
Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой**



ХАЛЬКОГЕНИДЫ И ОКСИДЫ ЭЛЕМЕНТОВ IV ГРУППЫ. ПОЛУЧЕНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ / Под ред. Мошников В.А

// авторы : Александрова О.А., Максимов А.И., Мошников В.А., Чеснокова Д.Б.
Санкт-Петербург, 2008.

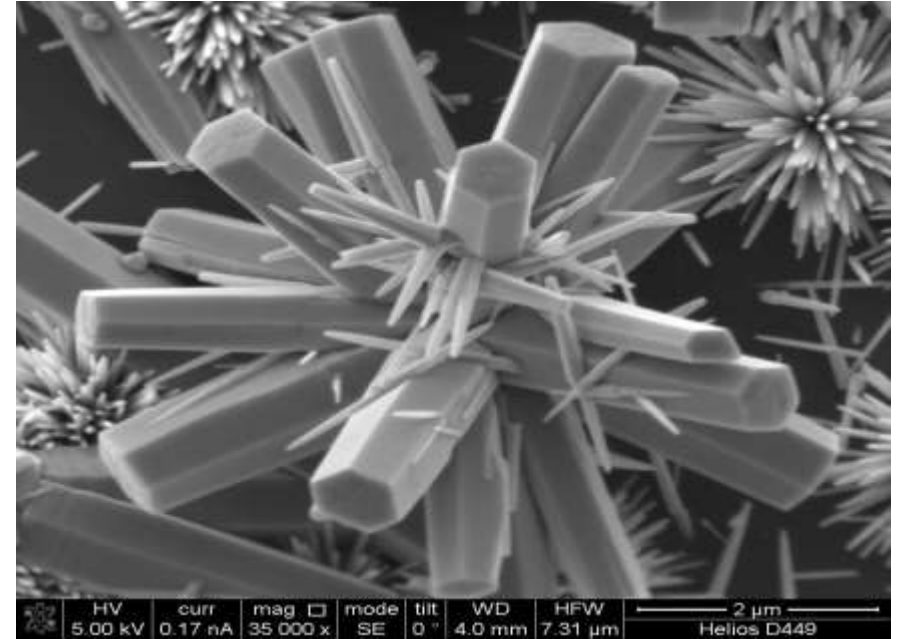
Спивак Ю. М. Анализ фотоприемных монокристаллических и поликристаллических слоев на основе халькогенидов свинца методами атомно-силовой микроскопии: дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008



Эффект Киркендалла и эффект Френкеля

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. **Максены**
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. Заключение.



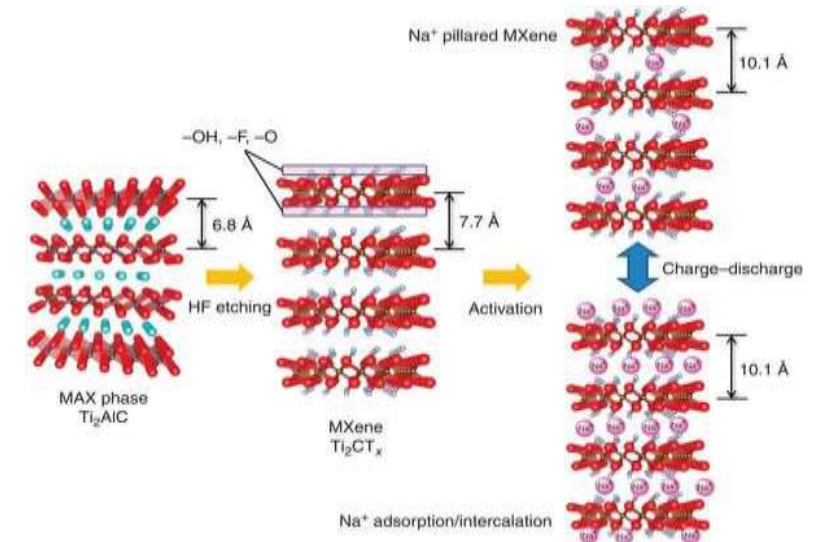
Максены

Максены (англ. *MXenes*) — представляет собой слоистые карбиды, нитриды и карбонитриды, получаемые химическим расслоением материала-родителя состава $Mn+1AX_n$ (MAX-фазы), где M – переходный d -металл (Ti, V, Cr, Nb, Ta, Hf, Zr), A – элементы II–VI основных групп (Cd, Al, Ga, In, Tl, Si, Ge, Sn, Pb, P, As, S), X – углерод или азот (иногда используется терминология MAC-фаз для карбидов и MAN-фаз для нитридов), число $n = 1, 2$ или 3 . MAX-фазы соответствуют гексагональной пространственной группе $P63/mmc$ с двумя формульными единицами на элементарную ячейку, имеют слоистое строение и проявляют заметную анизотропию свойств. Удаление A -слоя в таких MAX-материалах позволяет получить двухмерные MX-слои, слабо связанные друг с другом, называемые максенами.

Таблица. Примеры известных MAX-фаз

211	312	413
Ti_2CdC , Sc_2InC , Ti_2AlC , Ti_2GaC , Ti_2TlC , V_2AlC , V_2GaC , Cr_2GaC , Ti_2GaN , Ti_2InN , V_2GaN , Cr_2GaN , Ti_2SnC , Ti_2PbC , V_2GeC , Cr_2AlC , V_2PC , V_2AsC , Ti_2SC , Zr_2InC , Zr_2TlC , Nb_2GaC , Nb_2InC , Mo_2GaC , Zr_2InN , Zr_2SnC , Zr_2PbC , Nb_2SnC , Nb_2PC , Zr_2SC , Nb_2SC , Hf_2InC , Hf_2TlC , Ta_2GaC , Hf_2SnC , Hf_2PbC , Hf_2SnN , Hf_2SC , Ti_2InC , Ti_2AlN , Ti_2GeC , Cr_2GeC , Nb_2AlC , Zr_2TiN , Nb_2AsC , Ta_2AlC	Ti_3AlC_2 , V_3AlC_2 , Ti_3SiC_2 , Ti_3GeC_2 , Ti_3SnC_2 , Ta_3AlC_2	Ti_4AlN_3 , V_4AlC_3 , Ti_4GaC_3 , Ti_4SiC_3 , Ti_4GeC_3 , Nb_4AlC_3 , Ta_4AlC_3

Важно отметить, что структуры максенов получаются пока только методами травления, поэтому всегда функционализированы группами $-O-$, $-OH$ и/или $-F$. С учетом этих групп получаемые травлением максены записывают как $Mn+1X_nT_x$, где T — соответствующая группа или несколько групп



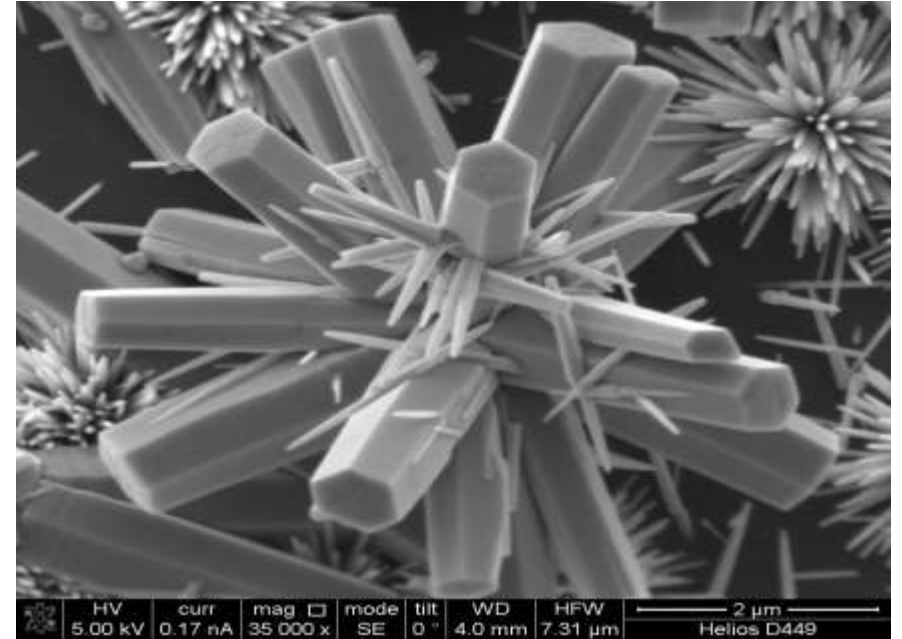
Теоретически предсказано и экспериментально показано, что максены типа Ti₃C₂ могут интеркалироваться ионами Na⁺, K⁺, Ca⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, Al³⁺ и использоваться в качестве электродов

Наночастицы, наносистемы и их применение. Часть II. Углеродные и родственные слоистые материалы для современной наноэлектроники: Учеб.пособие / под ред. В. А. Мошникова, О. А. Александровой. Уфа: Аэтерна. –2016.–330с.

Xianfen Wang et.al. Pseudocapacitance of MXene nanosheets for high-power sodium-ion hybrid capacitors. *Nature communications* 6 (2015).

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. *Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла*
3. *Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации*
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. *СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности*
5. *АСМ дизайн- локальное окисление*
6. *Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.*
7. *Нетрадиционные механизмы образования кристаллов*
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. *Механизм сращивания через кислородные мостики*
8. *Ориентированное сращивание. Мезокристаллы*
9. *Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами*
10. *Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой*
11. *Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка*
12. *Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики*
13. *Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой*
14. *Максены*
15. **Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур**
16. Заключение.



Дихалькогениды переходных металлов (Transition metal dichalcogenides) Ван-дер-Ваальсовы гетероструктуры

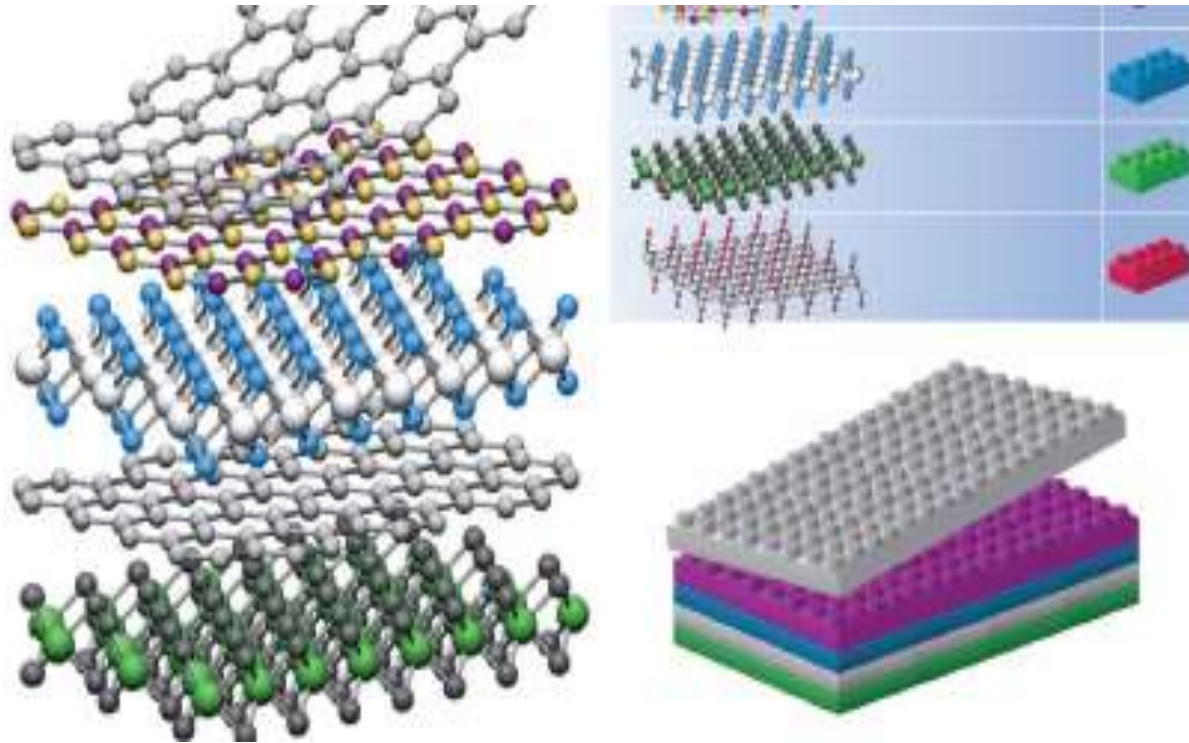
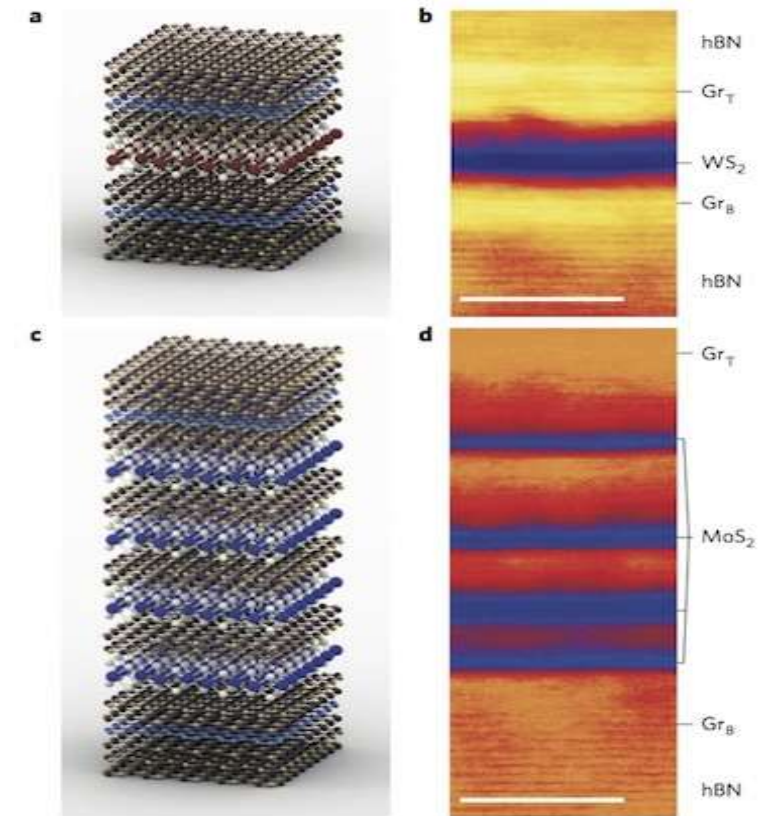


Схема построения ван-дер-ваальсовой (вертикальной) структуры. На правой половине рисунка отображена аналогия с конструктором Lego, где белая пластина соответствует графену, вишневая – hBN, голубая – MoS₂, зеленая – WSe₂, красная – флюорографену

A. K. Geim, I. V. Grigorieva. Van der Waals heterostructures. Nature, 499, 419-425 (2013).

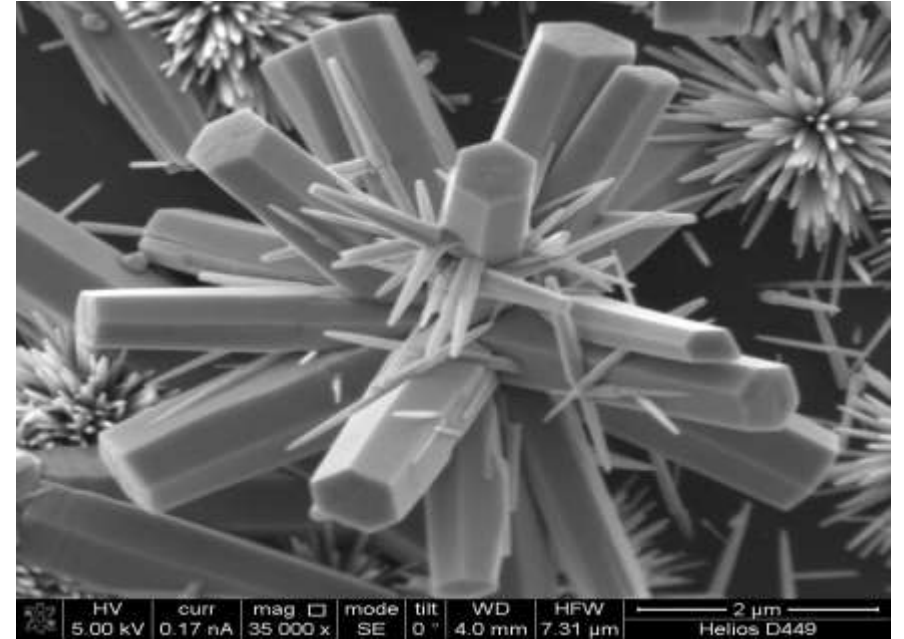
.



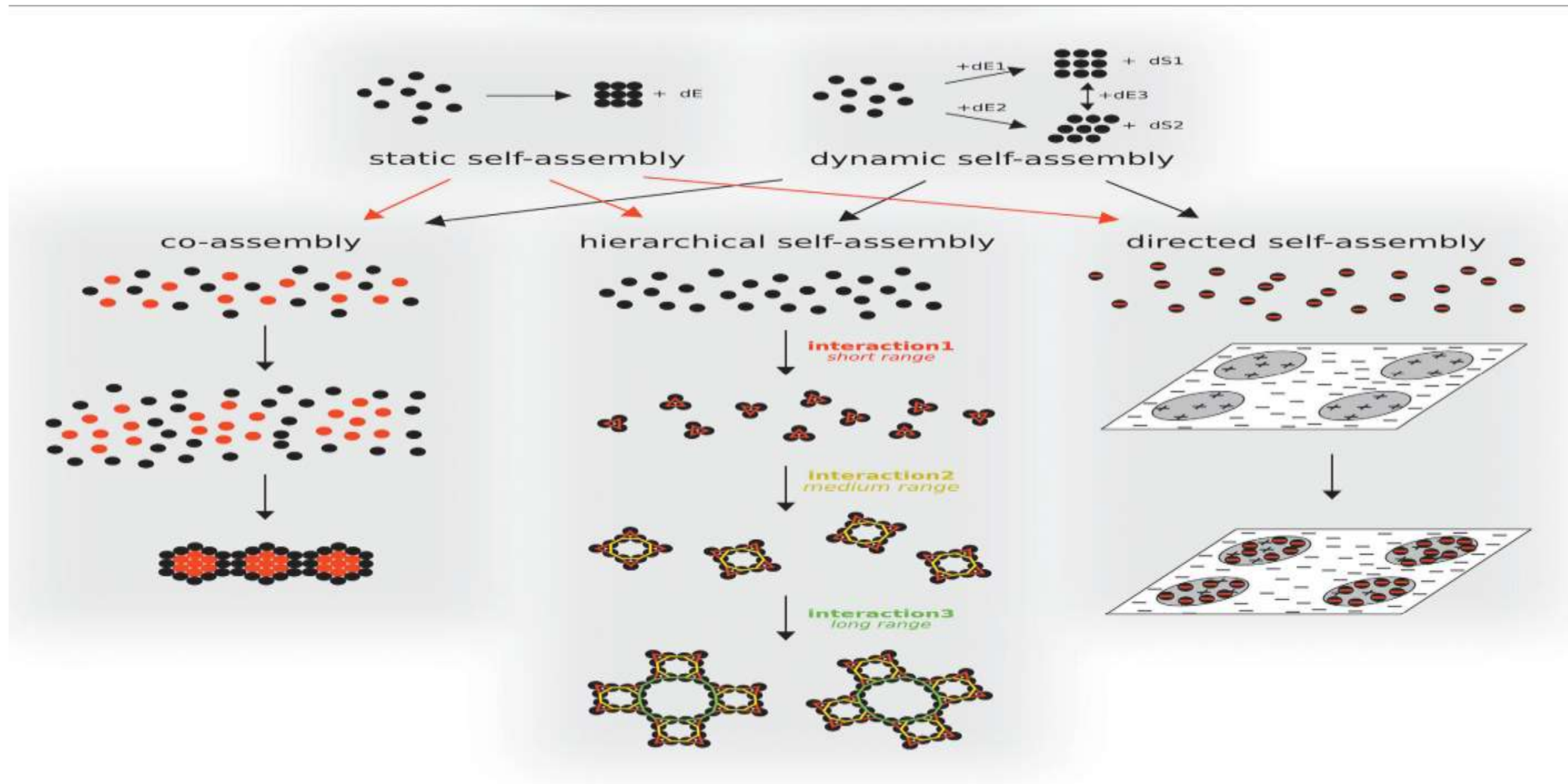
Дихалькогениды переходных металлов с формулой MX₂ (где М - переходный металл, а Х - халькоген) обладают широким диапазоном электронных свойств, от диэлектрических или полупроводниковых (например, дихалькогенидов Ti, Hf, Zr, Mo и W) до металлических или полуметаллические (дихалькогениды V, Nb, Ta)

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Введение.
2. Процесс зарождения и роста кристаллов. Основы управления формой нанокристалла
3. Концентрационное переохлаждение. Теория дендритной кристаллизации
Скелетный кристалл Расщепленные кристаллы. Сферокристаллы. Сферолиты
ОБРАЗОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
4. СЗМ-для нанотехнологии и диагностики поверхности
5. АСМ дизайн- локальное окисление
6. Молекулярное и атомарное манипулирование. Атомное перо.
7. Нетрадиционные механизмы образования кристаллов
Элементы атомно-молекулярной архитектоники.
8. Механизм сращивания через кислородные мостики
8. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы
9. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами
10. Нанолитография с использованием активации поверхности, самосборки и самоорганизации. Сенсоры с фрактально-перколяционной структурой
11. Нанолитография и рост фрактально-перколяционной системы на основе ограниченных нанокристаллов оксида цинка
12. Примеры атомно-молекулярного дизайна иерархических структур на основе наностержней ZnO для катализа и сенсорики
13. Наноархитектоника слоев халькогенидов свинца для ИК-излучателей и фотоприемников. Эффект Киркендалла для дизайна ядра внутризеренного пространства с оксидной оболочкой
14. Максены
15. Дизайн и архитектоника Ван-дер-Ваальсовых гетероструктур
16. **Заключение.**



Еще раз об архитектоники. Еще одна классификация видов самосборки иерархических структур (Из Materials Today)



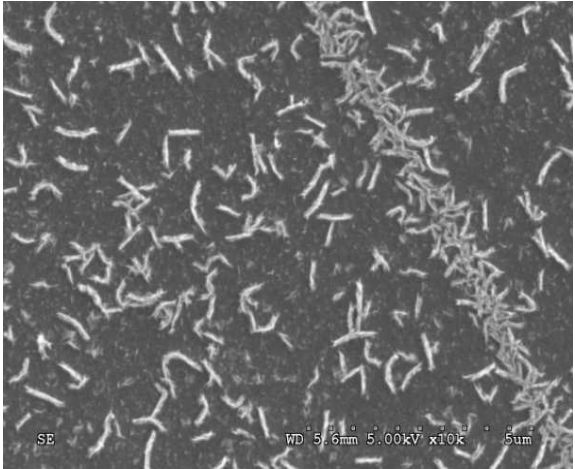
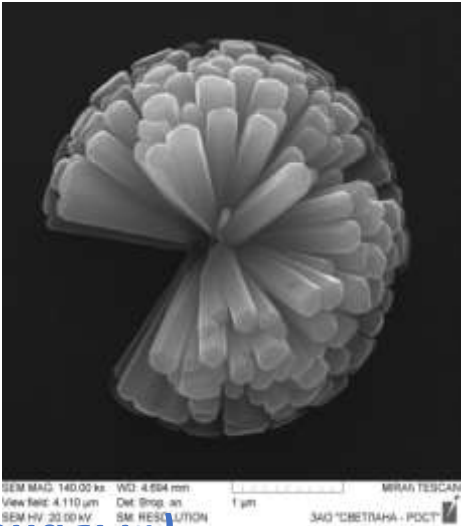
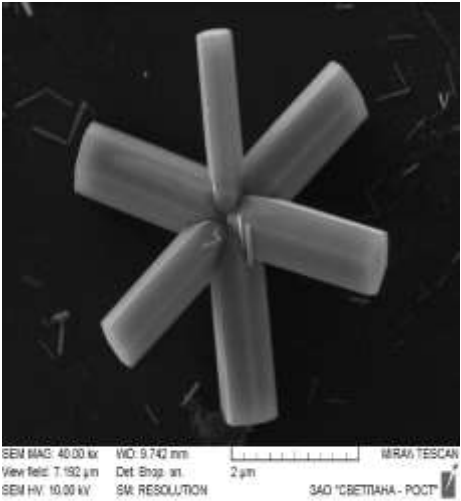
Краткие выводы:

Рассмотрены:

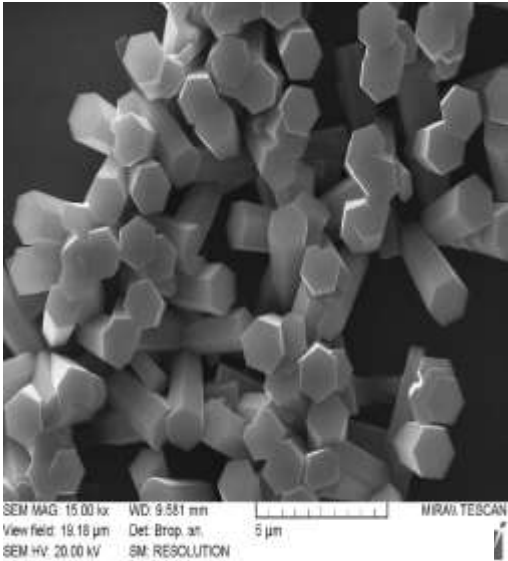
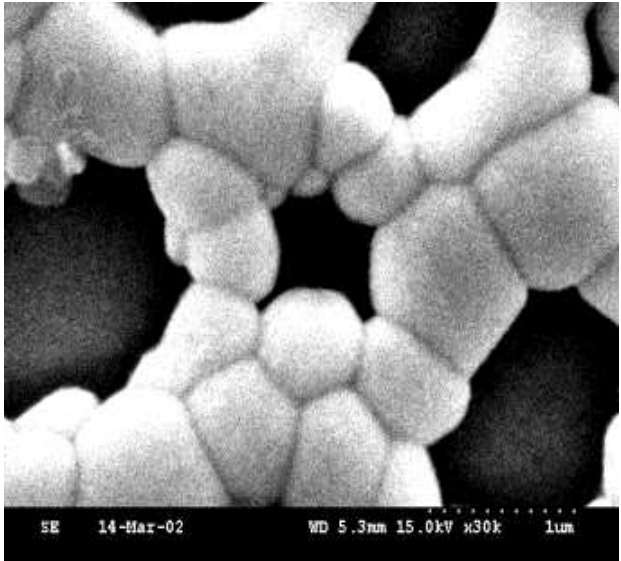
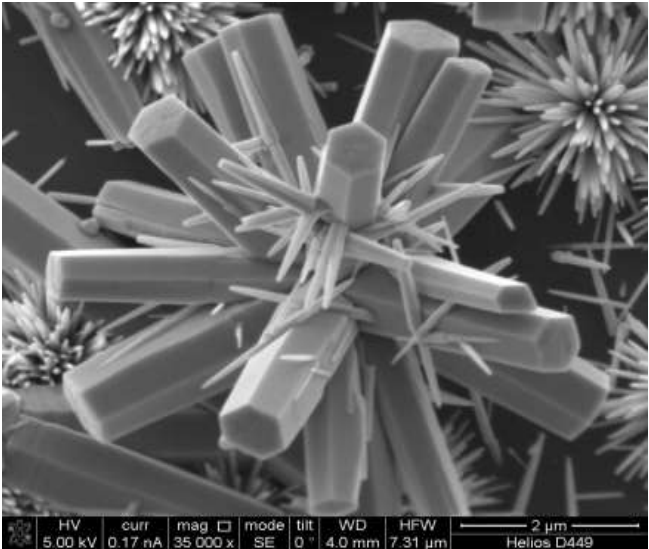
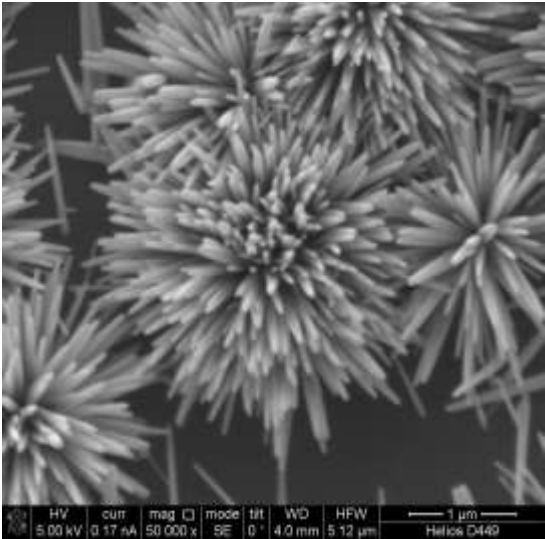
- 1. физико-химические основы атомно-молекулярного-дизайна.**
- 2. процессы зарождения и роста кристаллов и основы управления формой нанокристалла**
- 3. концентрационное переохлаждение**
- 4. методы СЗМ для диагностики и модификации поверхности**
- 5. нетрадиционные механизмы. Ориентационное сращивание. Мезокристаллы. Наноархитектоника гибридных органо-неорганических систем с мостиковыми переходами.**

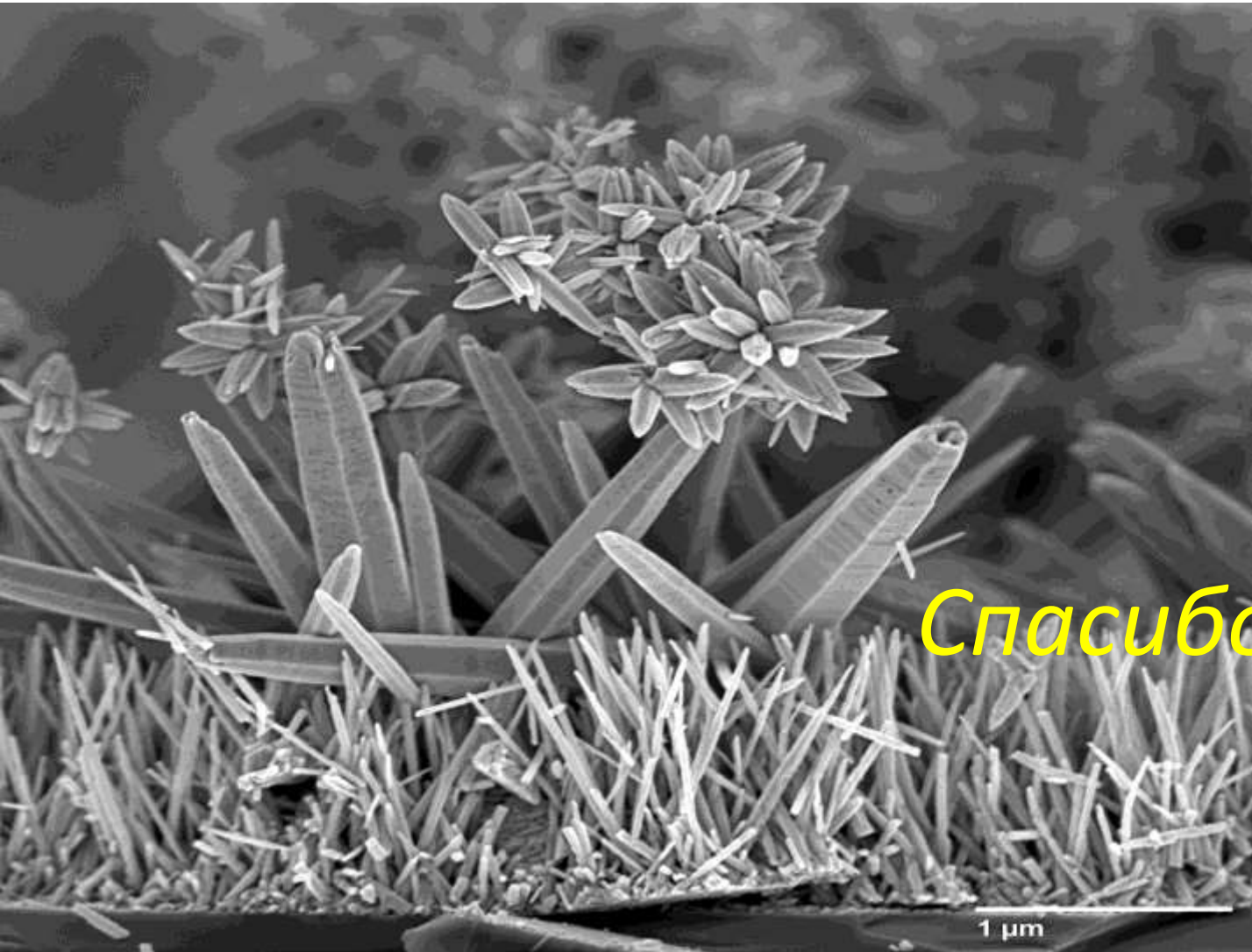
Приведены примеры оригинальных разработок по атомно-молекулярному дизайну и архитектонике, выполненные в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Атомно-молекулярный дизайн иерархических структур для катализа и сенсорики



(УНЛ «Наноматериалы»)





Спасибо за внимание !