# «Функциональные наноматериалы»

## Лекторы: проф. Кауль А.Р. , проф. Аржаков М.С.

- 36 час (2 час/неделю)
- Домашние задания (!)
- Контрольных работы
- Проверочные работы на лекциях
- Экзамен

**Направленность курса:**

изучение наиболее общих физико-химических закономерностей, явлений и процессов, формирующих свойства материалов, в том числе в наноструктурированном и наноразмерном состоянии.

**Часть 1. Функциональные неорганические материалы – 24 ч.**
**Часть 2. Полимерные материалы – 12 ч.**

# Структура раздела «Функциональные неорганические материалы»

**Фазовые равновесия**
1,2 и 3-х компонентных систем.

**Язык фазовых диаграмм**

**1 контр.работа**

**Твердые растворы**

**Явления при термообработке твердых растворов и их влияние на физические свойства материалов**

**2 контр.работа**

Материал – вещество, отвечающее тем или иным требованиям его применения.

**Разработка новых материалов – одна из главных целей деятельности химиков**

# Материалы определяют уровень цивилизаций.

Периодизация истории человечества :

**Каменный век** | **Бронзовый век** | **Железный век**

**~3000 лет до Н.Э.**

**~1000 лет до Н.Э.**

# Важнейшие материалы, формировавшие облик цивилизации

Строительство:

Глина

Камень

Бетон

Дерево

# Важнейшие материалы, изменившие жизнь человечества

Военное дело:

Порох

Динамит

Ядерное горючее

# Важнейшие материалы, изменившие жизнь человечества

Передача и хранение информации:

Глина – Папирус – Бумага

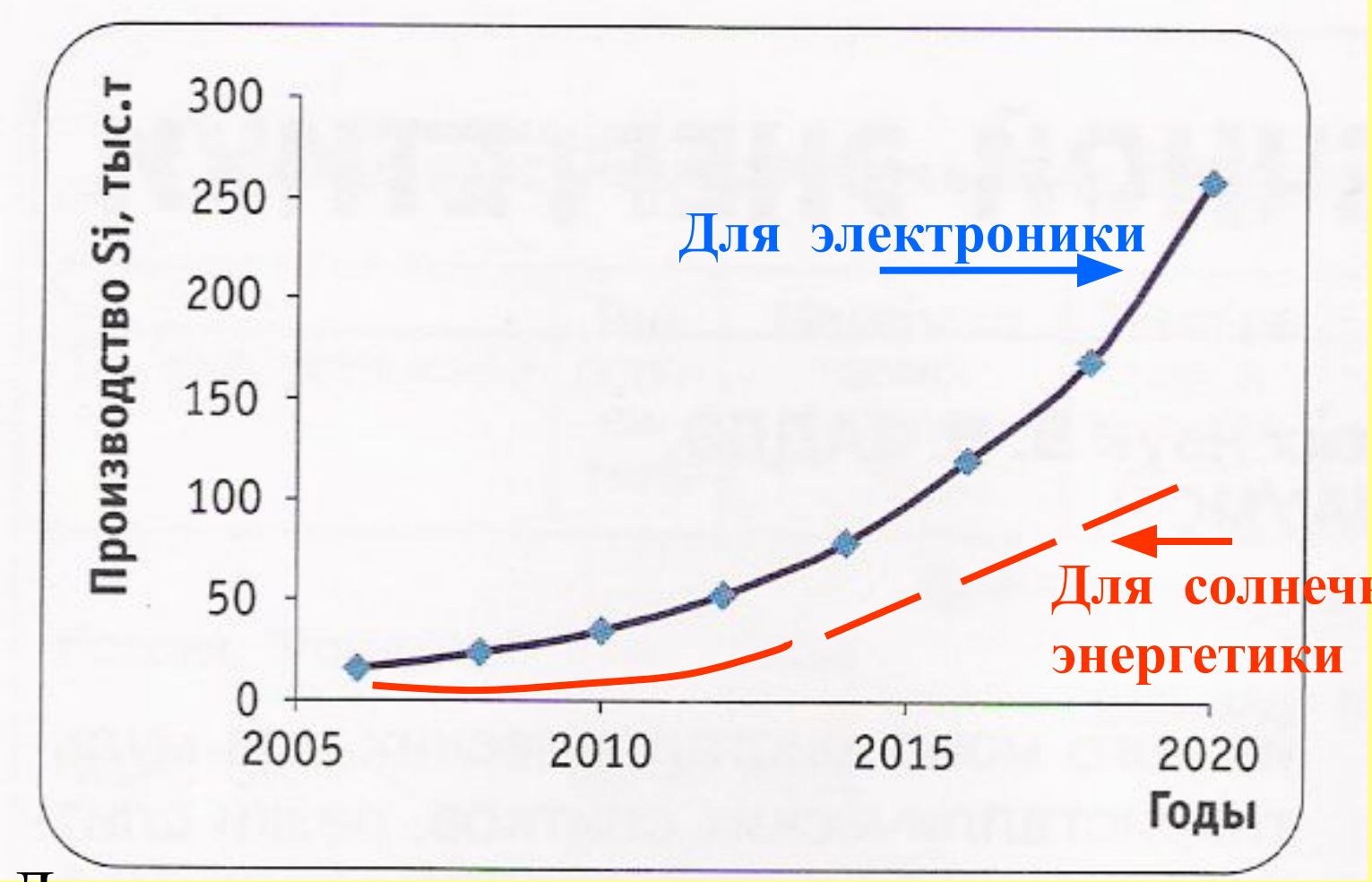
↓

Кремний

Особенность современного материаловедения –

разработка материалов для решения конкретной задачи.

# Полупроводниковый кремний – важнейший материал современности и будущего



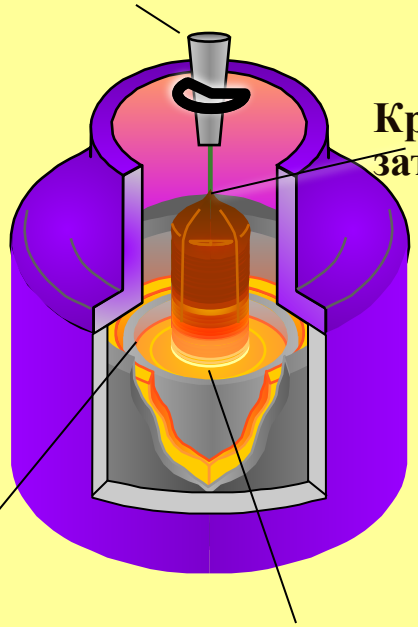

Динамика производства чистого кремния в мире

# Солнечные панели на основе монокристаллического и поликристаллического кремния

# Получение монокристаллического кремния для микроэлектроники методом Чохральского

«Сырой» кремний

Вытягивание с вращением

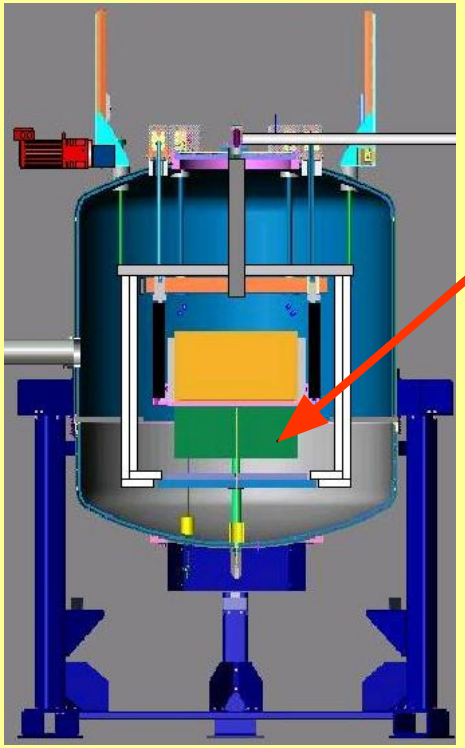


Полученный монокристалл

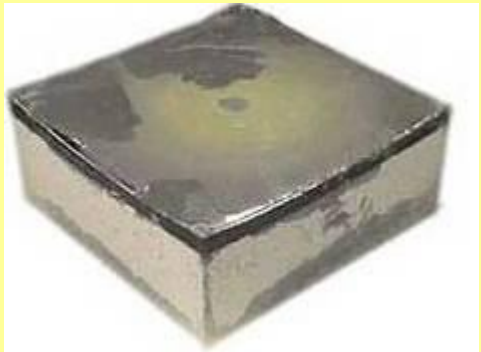
# Монокристалл кремния

# Получение поликристаллического кремния для солнечных батарей

«Сырой» кремний



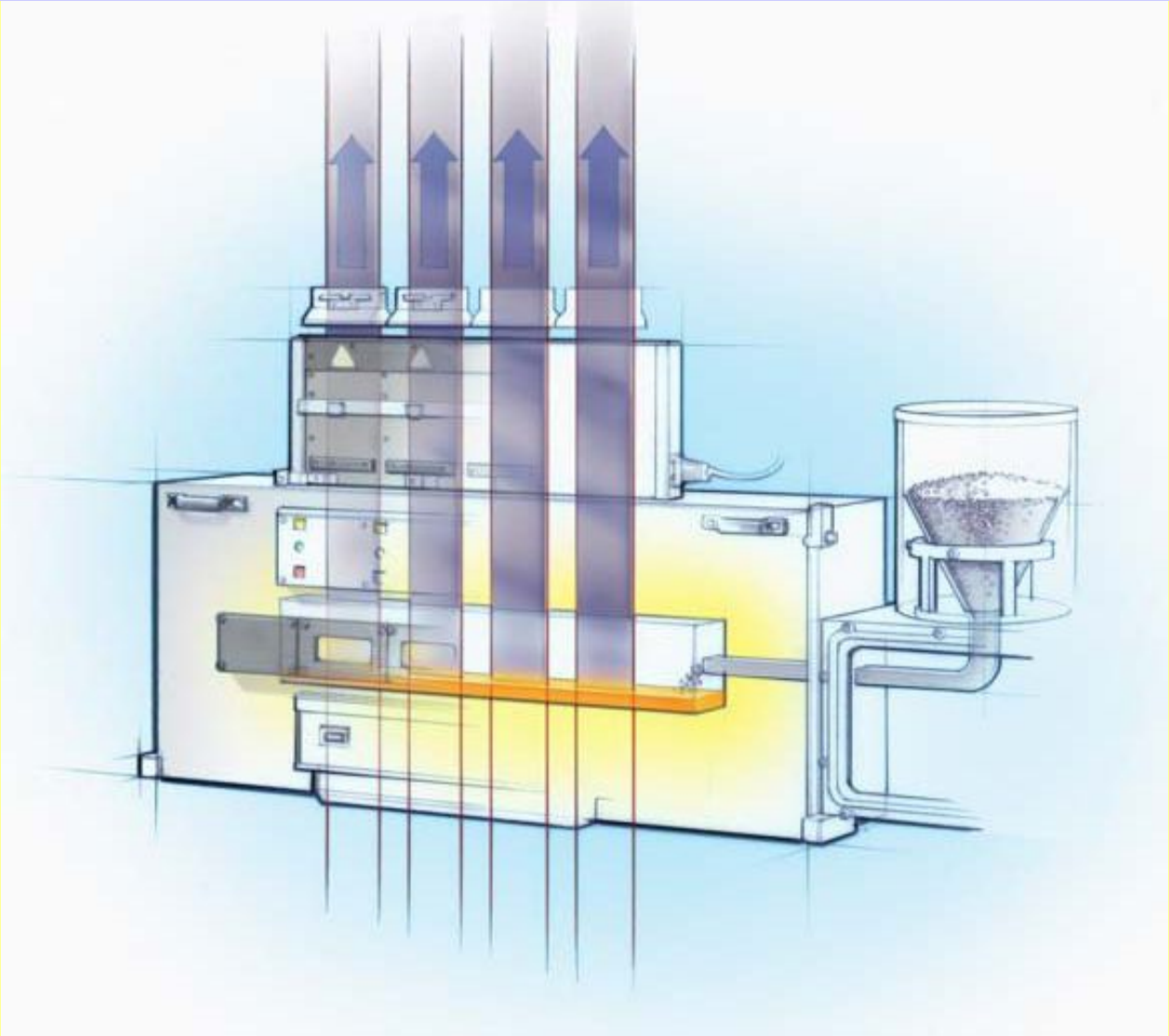
Кварцевый тигель с расплавом кремния



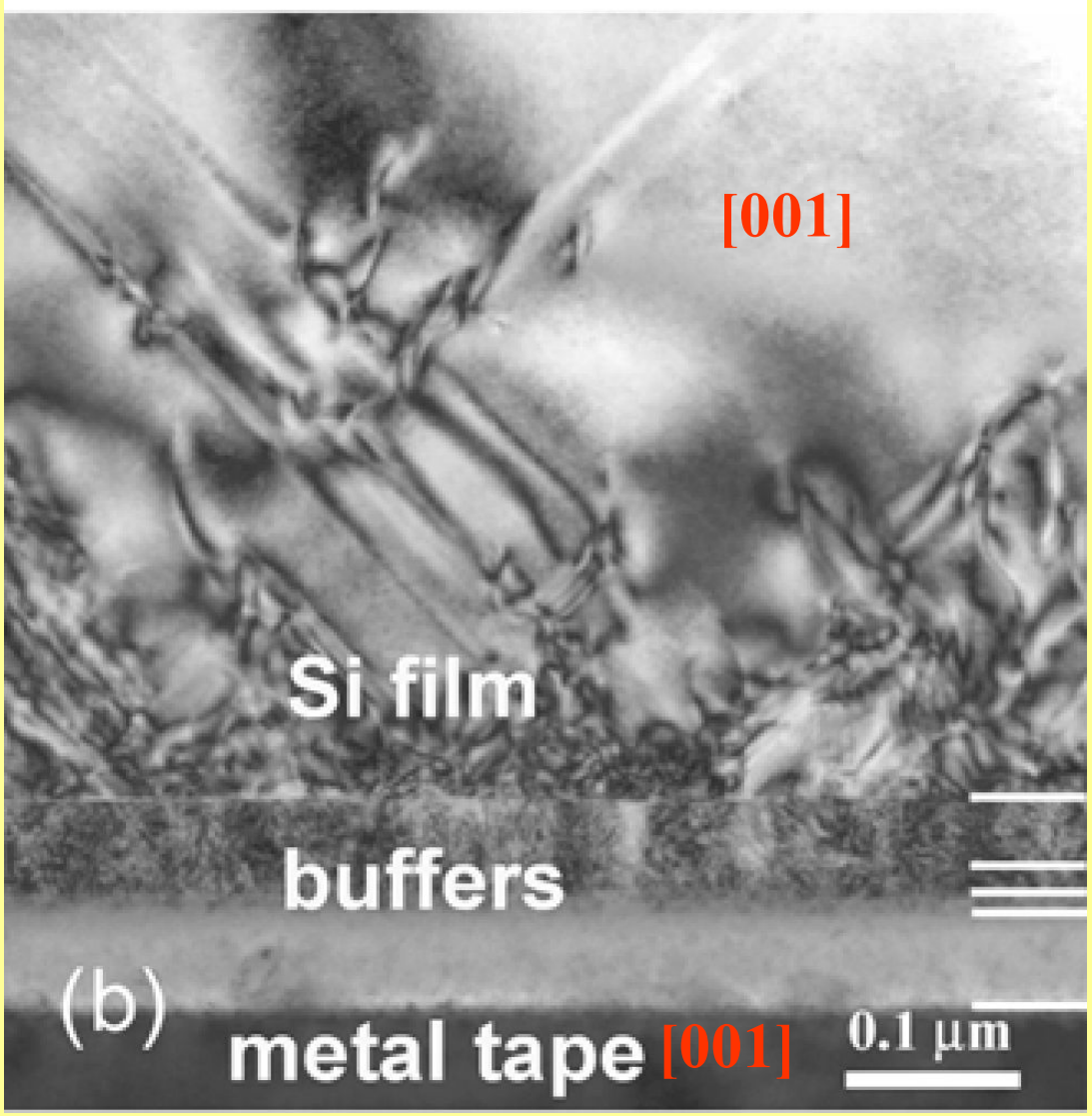
Выплавленный поликристаллический слиток

*Пластина поликристалли-ческого солнечного кремния* ***толщиной 50 мкм*** *и размером 125 х 125 мм*

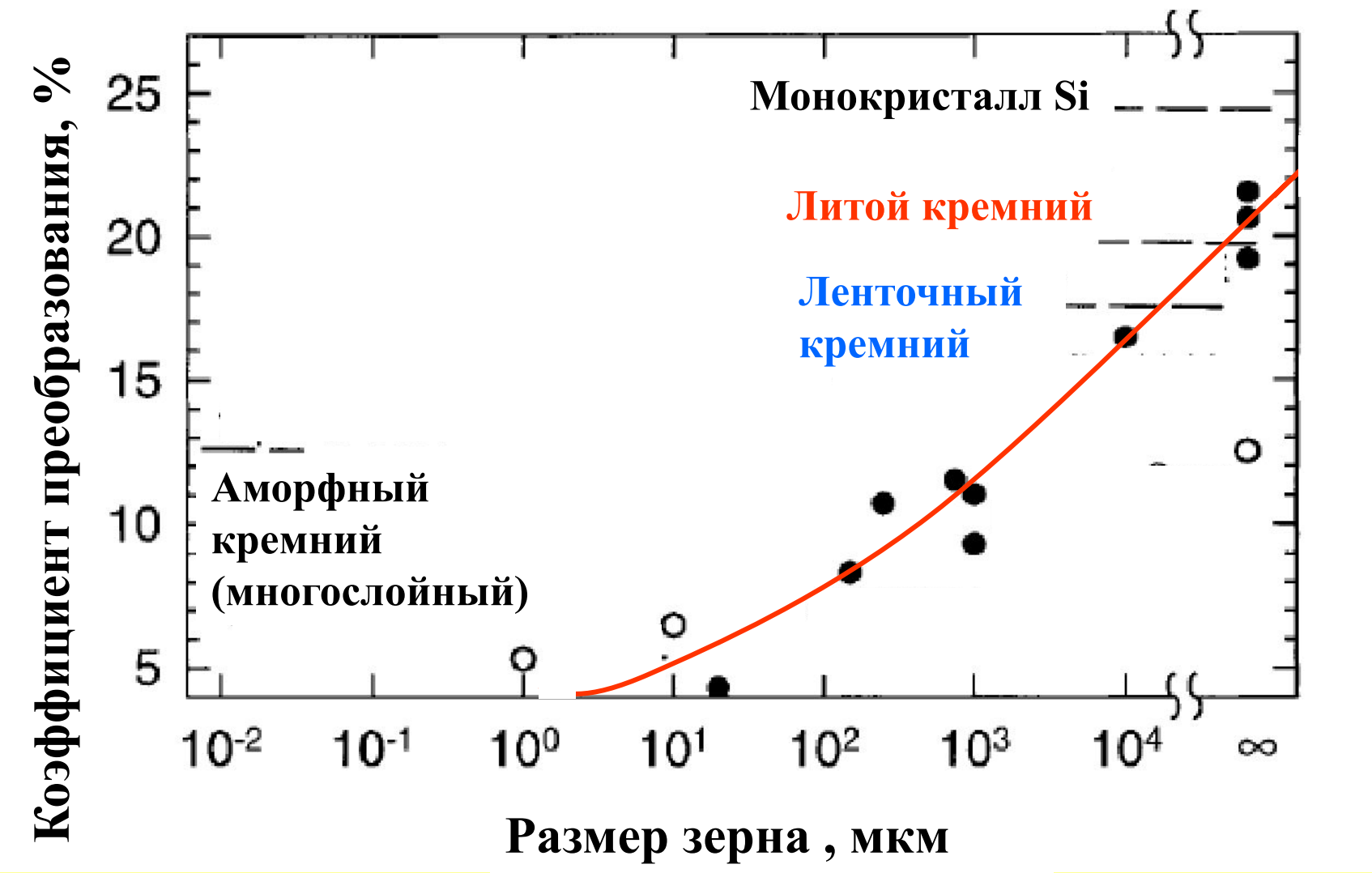
# Вытягивание из расплава лент поликристаллического кремния для солнечной энергетики



# Ориентированные кремниевые пленки на металлической подложке



# Зависимость эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую от размера зерен поликристаллического кремния



# Самолет с электрическим двигателем, работающим от солнечных батарей

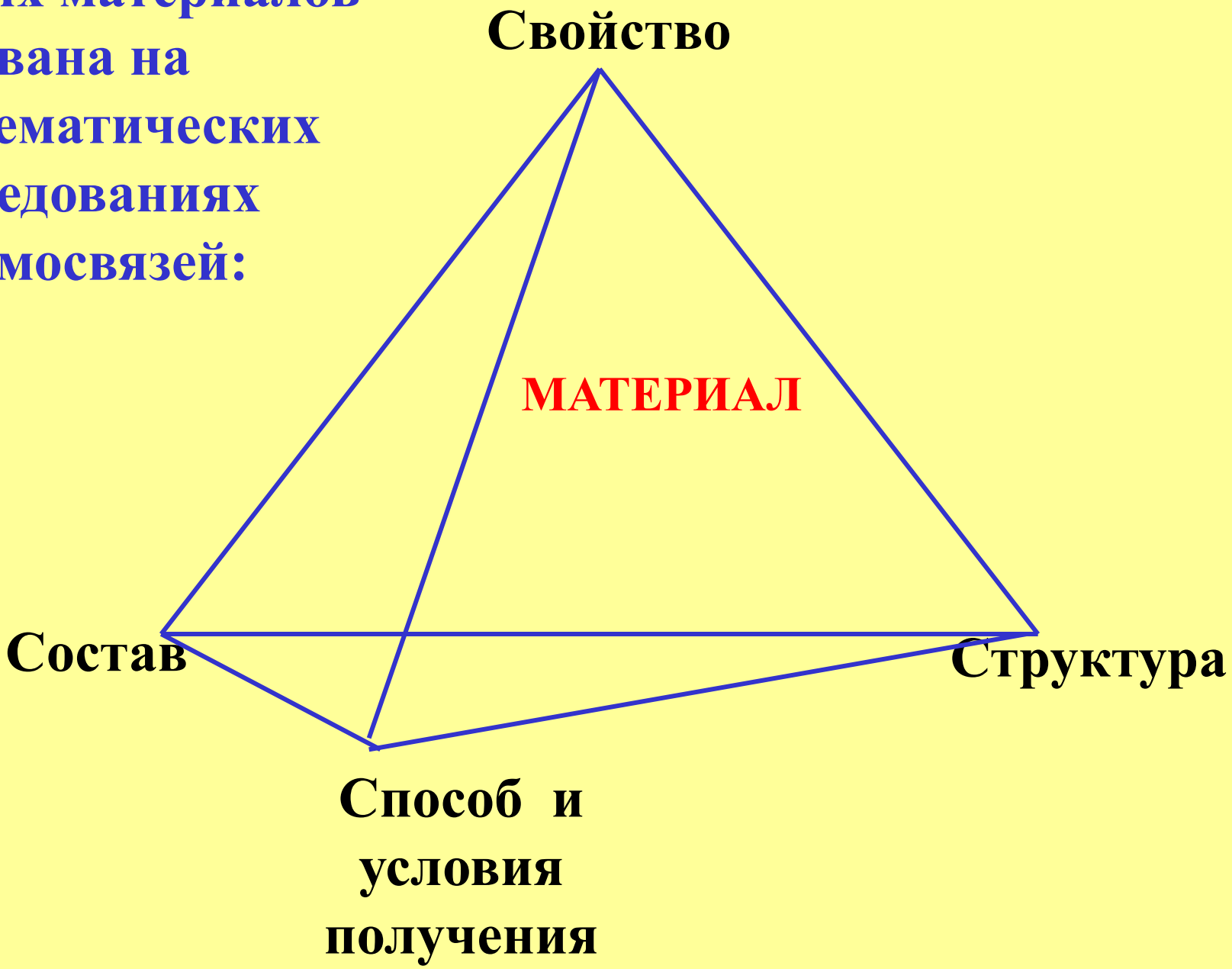
**12 000 фотоэлементов, вмонтированных в крылья, заряжают Li- батареи.**

# Самолет SolarImpulse, впервые перелетевший Америку, «питаясь» только энергией Солнца

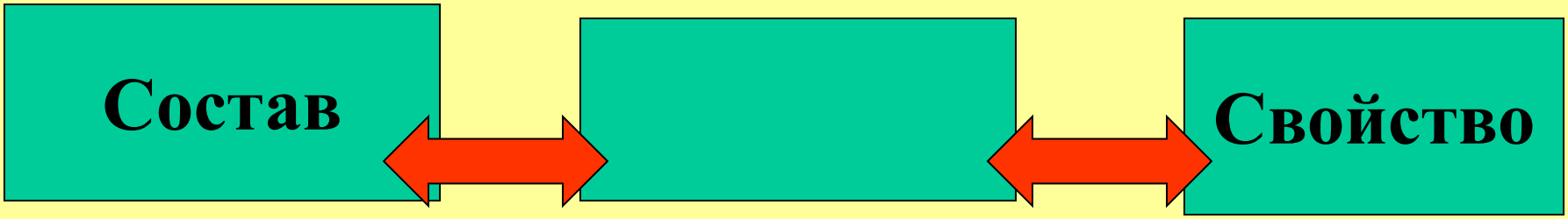
http://www.bbc.co.uk/russian/science/2013/07/130707_solar_plane_completion.shtml

**Модель 2:http://www.gazeta.ru/science/video/samolet_na_solnechnyh_batareyah.shtml**

**Стратегия создания новых материалов основана на систематических исследованиях взаимосвязей:**



# Стратегия создания новых материалов основана на систематических исследованиях взаимосвязей:



# Стратегия создания новых материалов основана на систематических исследованиях взаимосвязей:

**«Подход химика-синтетика»**

# Стратегия создания новых материалов основана на систематических исследованиях взаимосвязей:

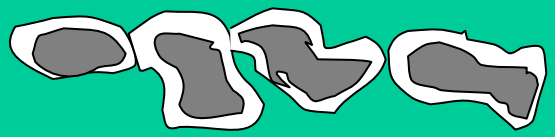
# Современное понимание термина «состав»

- Элементный состав
- Стехиометрия
- Нестехиометрия
- Однородность состава
- Тип и концентрация примесей
- Распределение примесей
- Фазовый состав

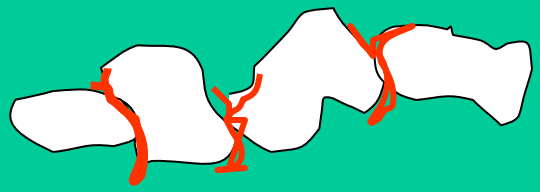
Zn, O

ZnO

$ZnO_{1-x}$ (изолятор-п/проводник)



**(Li, N) –p**; **(Ga, Al)-n**



**1 фаза, 2 фазы ?**

# Что понимают под термином «структура»?

- Атомная и электронная структура
- Кристаллическая структура
- Структура дефектов
- Наноструктура
- Микроструктура
- Мезоструктура
- Структура поверхности

Реальная структура

Морфология

# Свойства материалов

- Химические (реакционная способность, каталитические св-ва).

- Физические

  **Механические**
  **Электрические**
  **Магнитные** **и их комбинации**
  **Оптические**
  **Радиационные**

- Биологические ( биосовместимость, резорбируемость и т.д.)

---

- Технологические (прессуемость, спекаемость и т.д.)

# Свойства

**Структурно-**

**Нечувствительные**

**(фундаментальные)**

**Структурно-**

**чувствительные**

# Структурно-нечувствительные свойства

- теплоемкость
- упругость пара
- электродвижущая сила
- коэффициент теплового расширения
- критическая температура сверхпроводников
- ……..
- ……..

# Структурно-чувствительные свойства

- предел прочности
- теплопроводность
- электропроводность
- скорость распространения звука
- магнитная индукция
- сегнетоэлектрическая поляризация
- критический ток сверхпроводников
- ……..

**Структурно-чувствительные свойства** связаны с перемещением атомов, носителей электрических зарядов (электронов, ионов), фотонов и фононов, дислокаций , границ зерен, доменных стенок

**на расстояния больше межатомных.**

**Структурно- чувствительные процессы:**

диффузия, спекание, пластическая деформация,

теплопроводность, намагничивание, распространение звука и др.

# Электропроводность – пример структурно-чувствительного свойства.

**Электропроводность –зависит не только от:**

**фундаментальных свойств составляющих фаз**

**-типа носителей заряда (электроны, ионы)**

**-анизотропии структуры**

**-термодинамических параметров системы (T,P,состав),**

**но также от факторов микроструктуры:**

**-относительной плотности (пористости)**

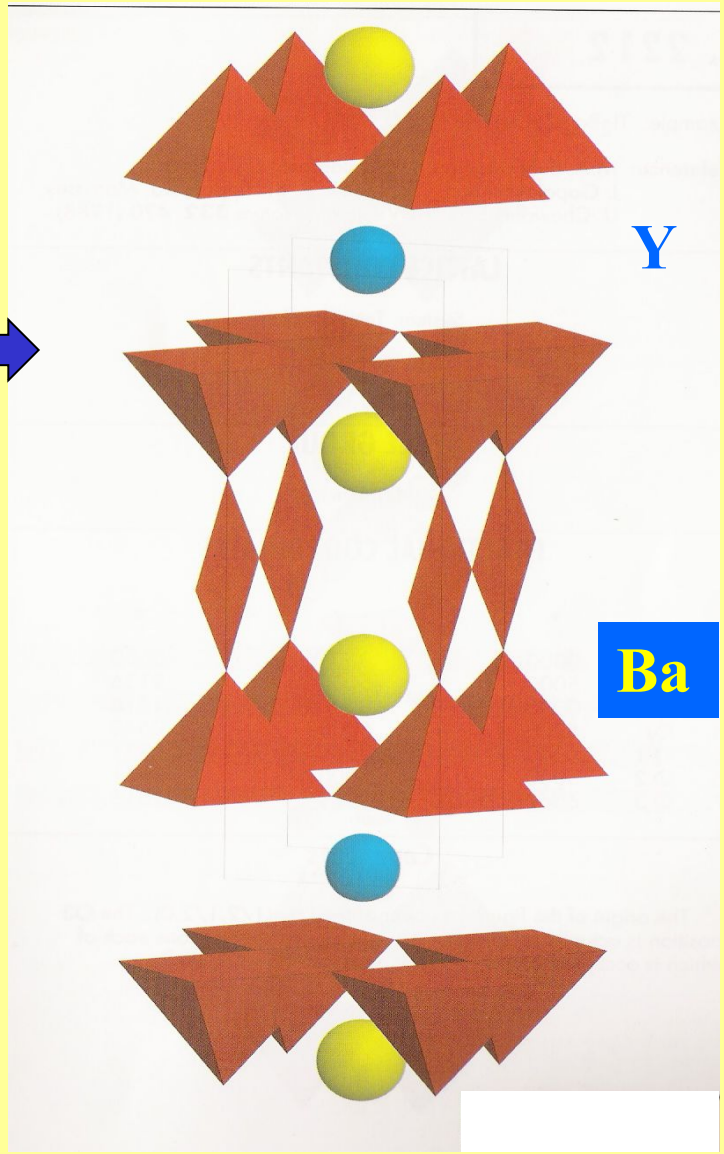
**-среднего размера кристаллитов**

**-текстуры**

# Анизотропия критического тока высокотемпературного сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Плоскости

$[CuO_2]$




Tc ~ 92 K

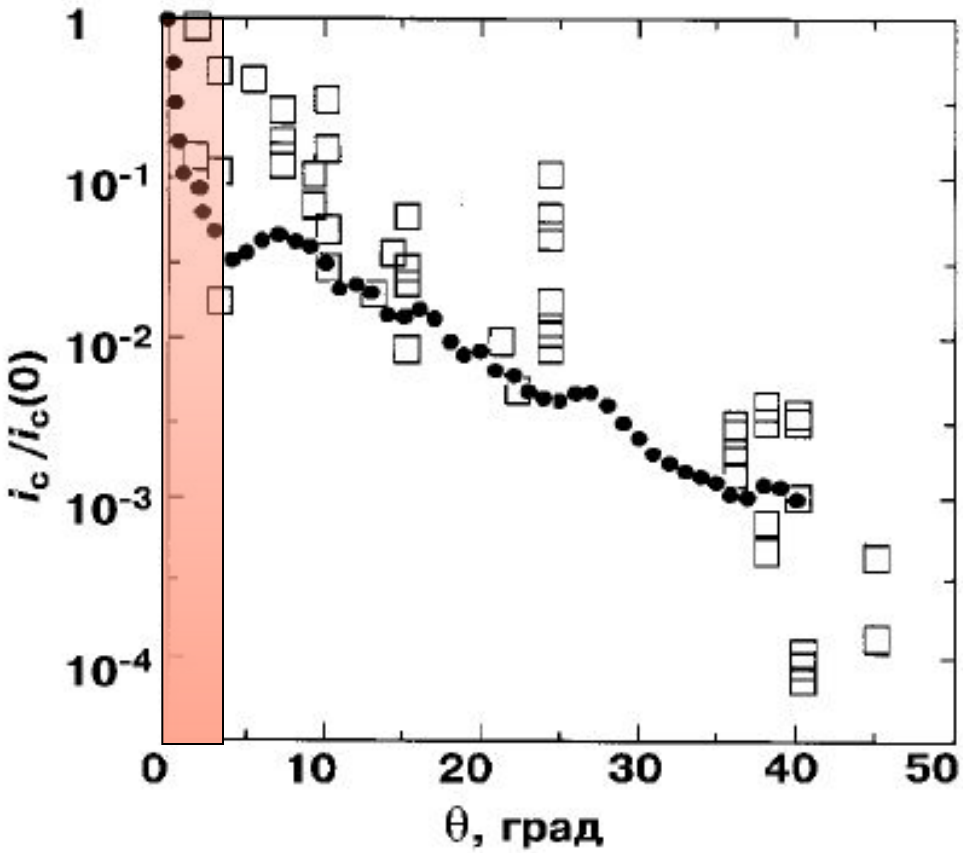



*Рис.2. Зависимость критического тока бикристаллических YBaCuO-пленок от угла разориентации кристаллитов. □ — эксперимент, ● — расчет по модели случайно расположенных дислокаций.*

Jc резко зависит от угла разориентации зерен высокотемпературного сверхпроводника

# Микроструктура керамики сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

— 0,1мкм

Tc ~ 92 К

Jc:

в керамике ~ $10^1$-$10^3$ А/см$^2$

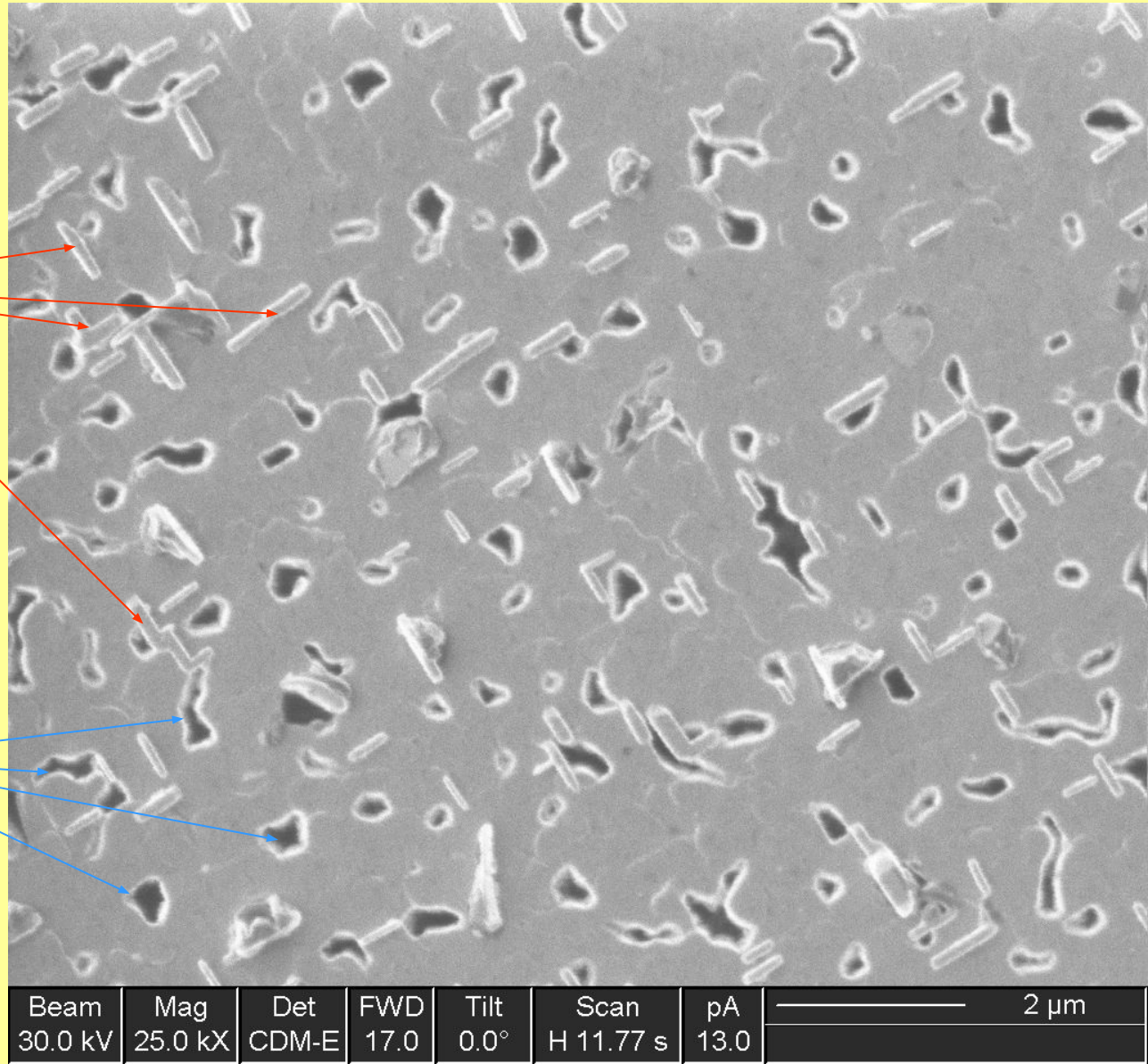
в монокристалле ~ $10^4$ А/см$^2$

в эпитаксиальных тонких пленках > $10^6$ А/см$^2$

# Морфология поверхности пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Зерна a-ориентированной фазы YBaCuO

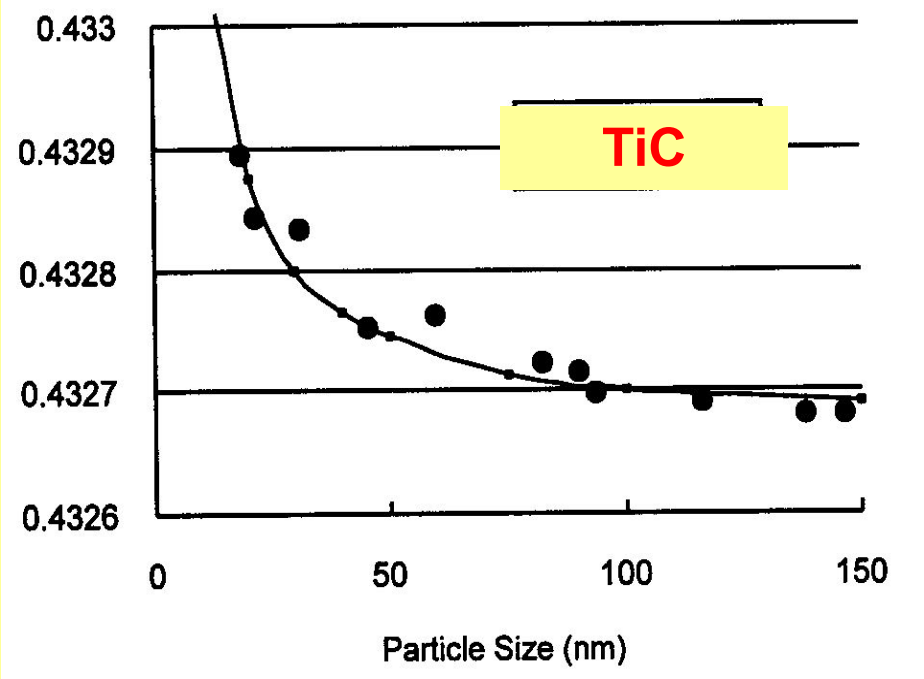
Микропоры

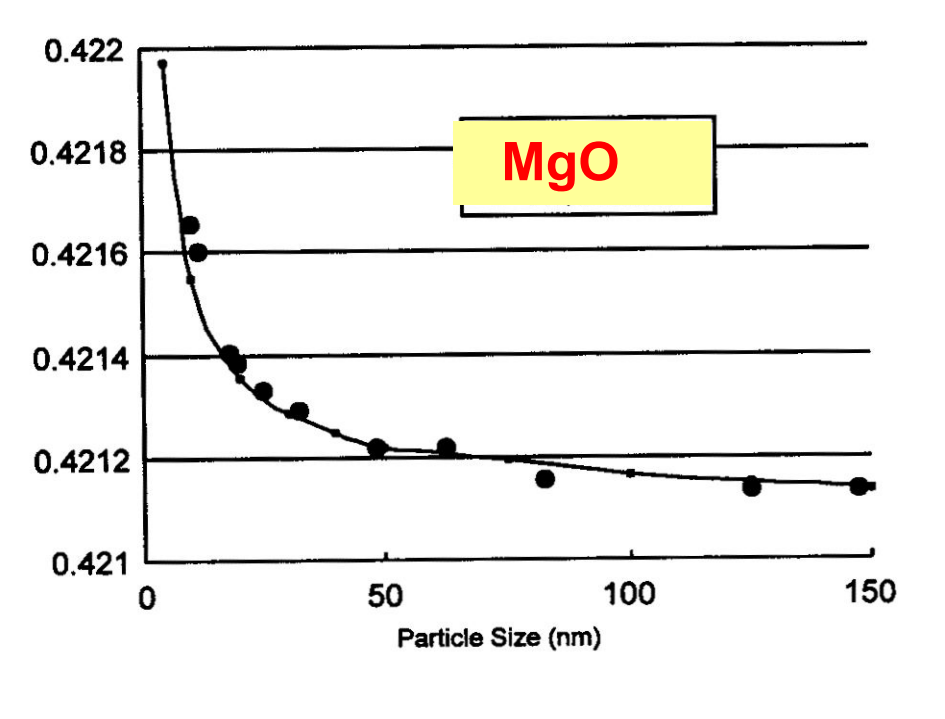


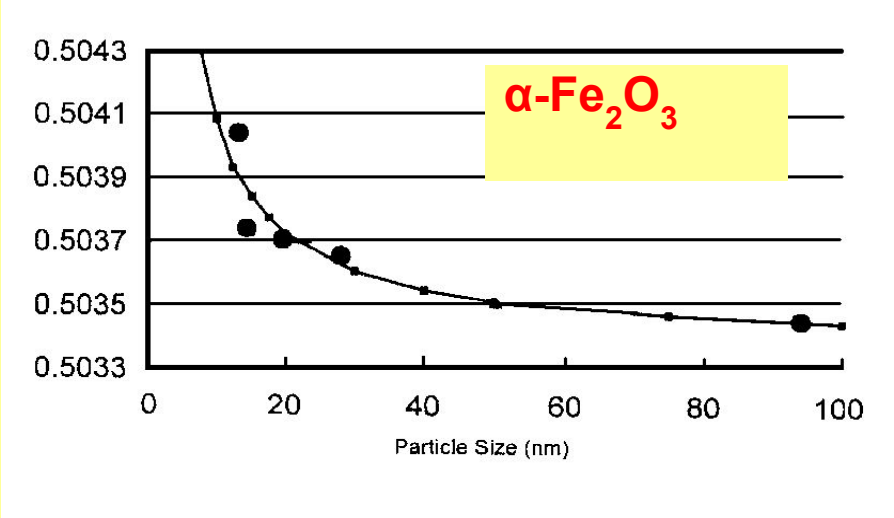
# Свойства наноматериалов структурно-чувствительны:

структурная чувствительность свойств наноматериалов определяется огромной концентрацией границ зерен, а также изменением фундаментальных характеристик веществ при изменении размера частиц до величины порядка нескольких параметров эл.ячеек.

# Измерение параметра решетки при изменении размера наночастиц



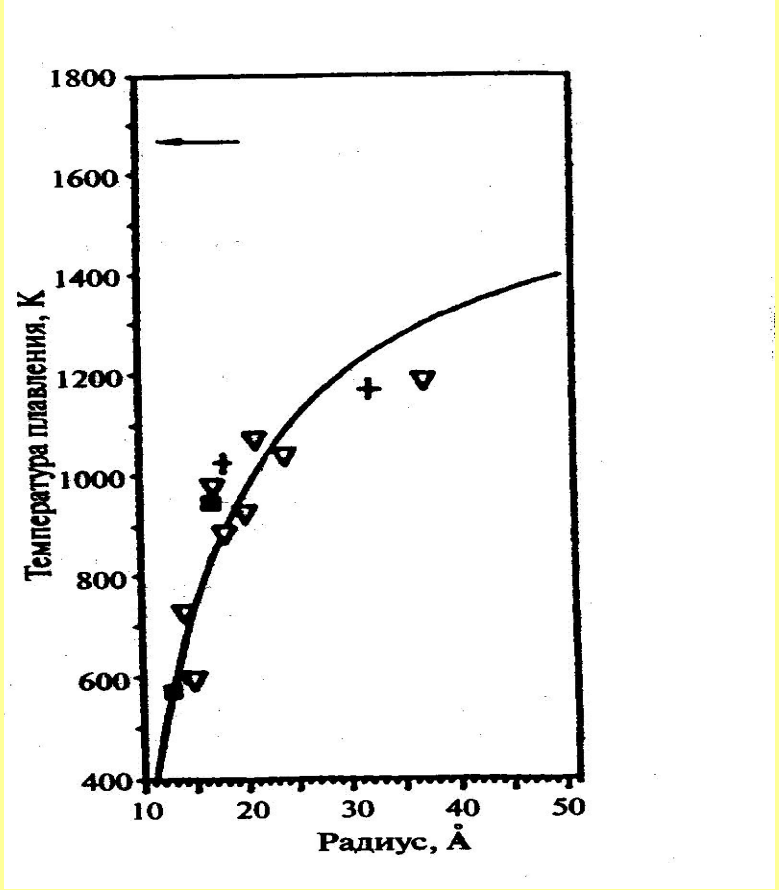




M. Fukuhara. // Physics Letters A, 2003, v.313, p.427.

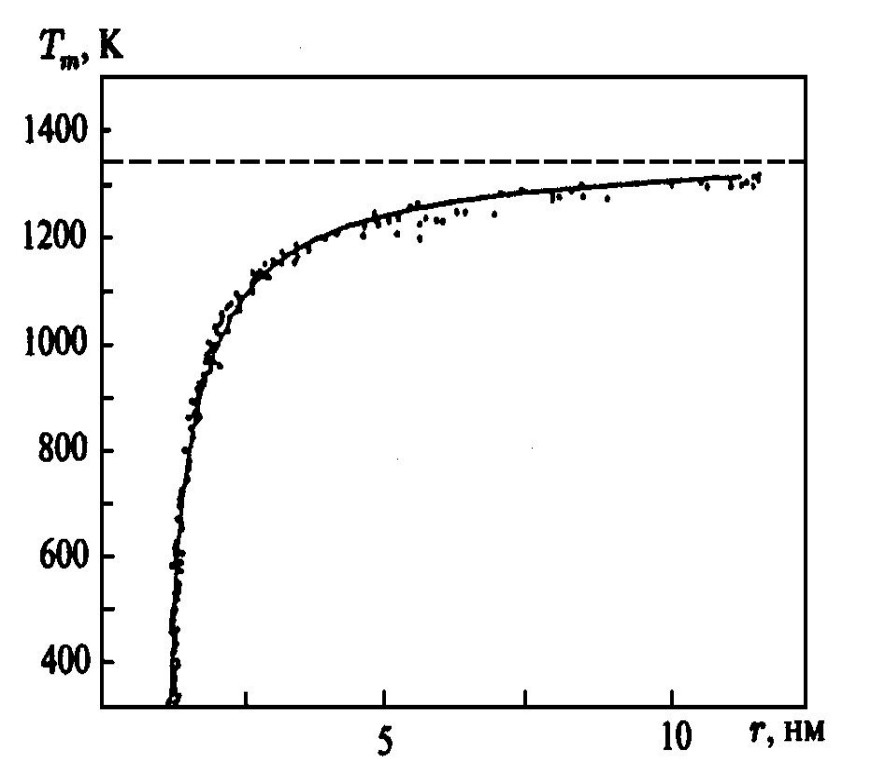
# Изменение температур плавления нановеществ в зависимости от размеров частиц

**Изменение температуры плавления CdS**




Goldstein A.N. et al.// Science, 1992, p.1425.

**Изменение температуры плавления золота**



# Материалы

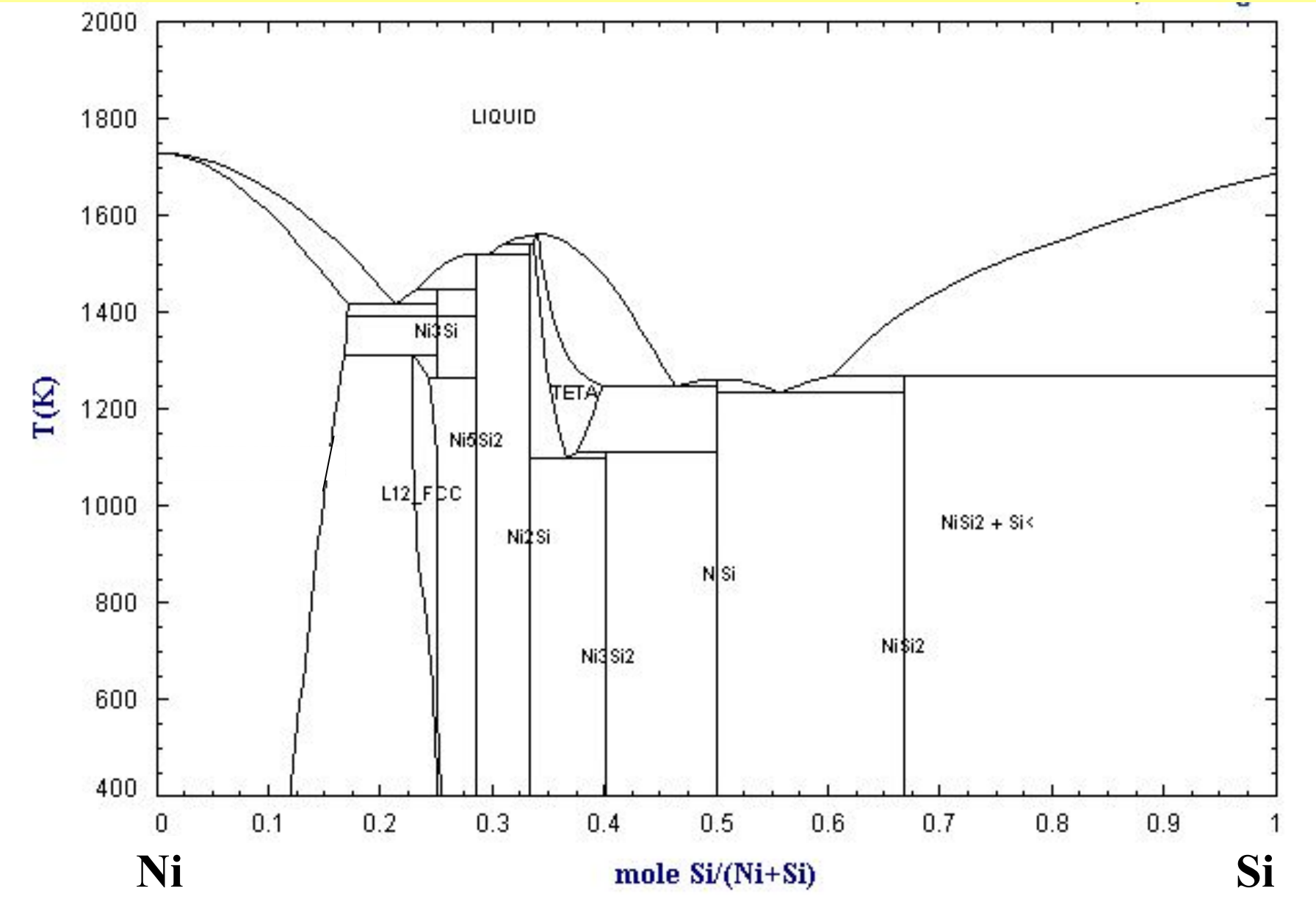
**Равновесные**

**Неравновесные**

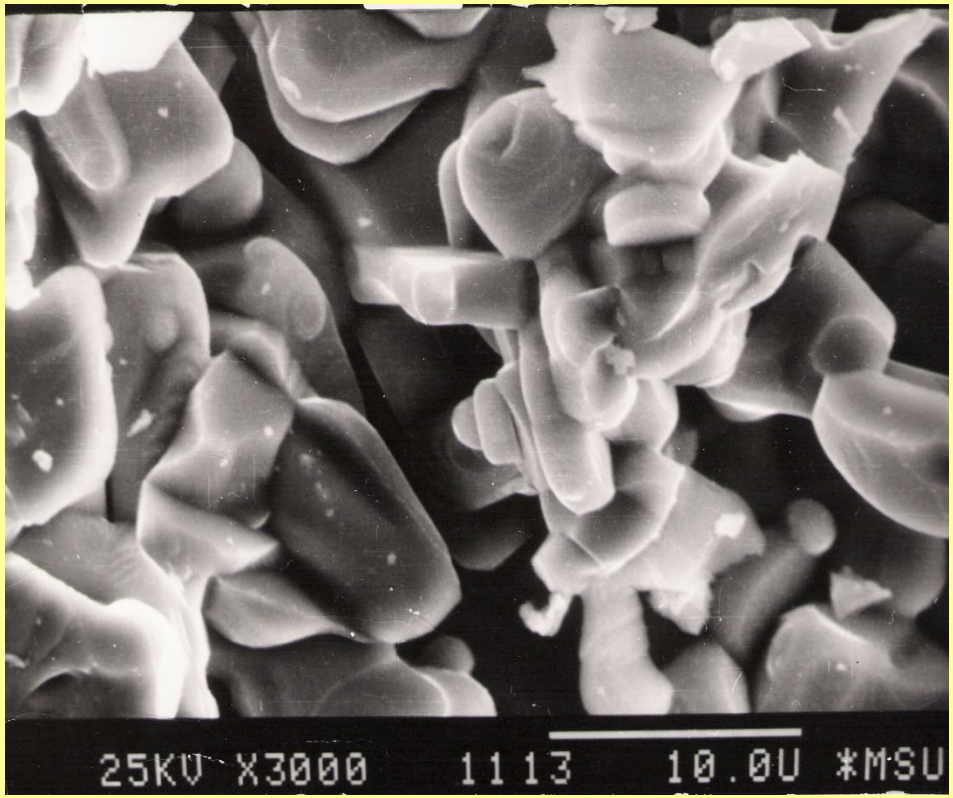
# Примеры неравновесных материалов, метастабильных при н.у. в окружающей атмосфере

1. Стекла
2. Аморфные металлы
3. Нанодисперсные материалы
4. В атмосферных условиях все металлы, кроме Au, Pt …
5. Композиты

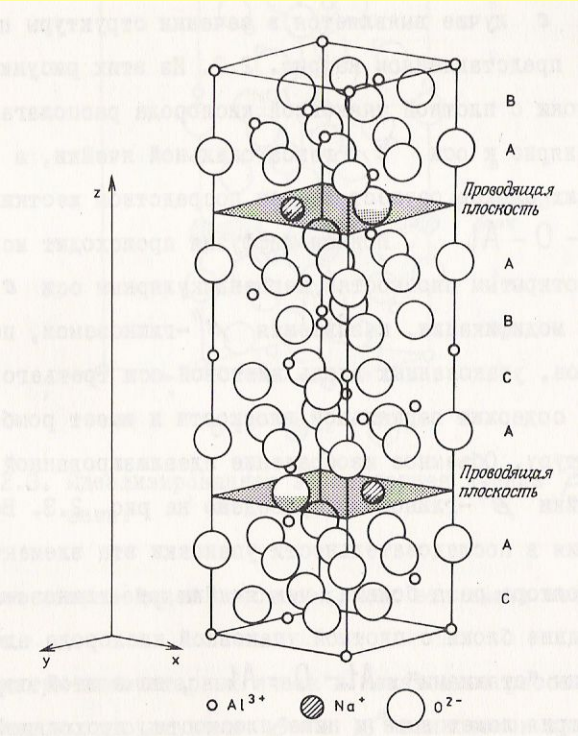
# Равновесная фазовая диаграмма системы - ключ к пониманию особенностей материала и его технологии



# Ионная проводимость бета-глинозема




Микроструктура керамики




Кристаллическая структура

Ионная проводимость бета-$Al_2O_3$ зависит от

-относительной плотности, размера кристаллитов,

-текстуры, примесей на границах кристаллитов.