

«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»



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 :



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:

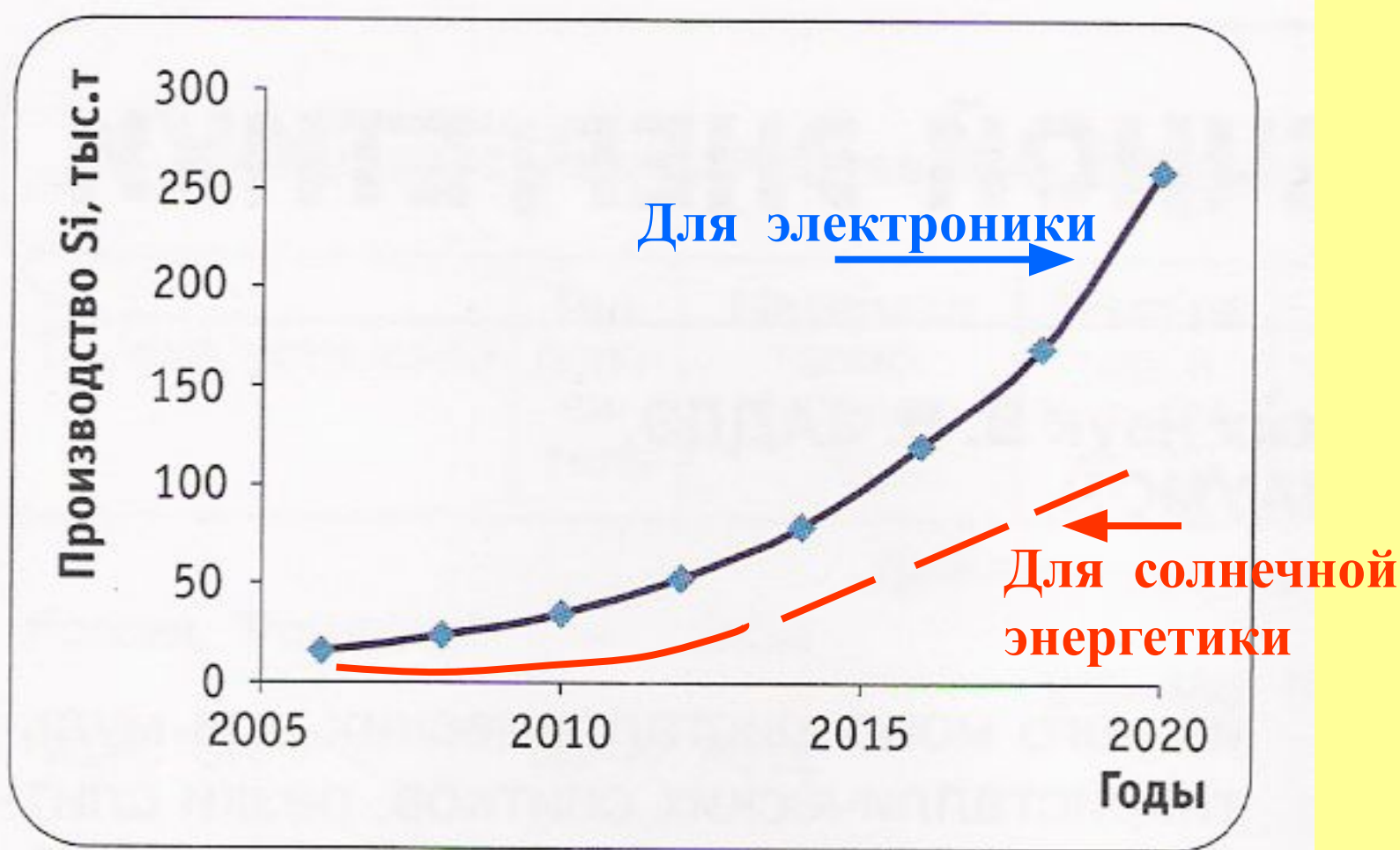
Глина — Папирус — Бумага



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

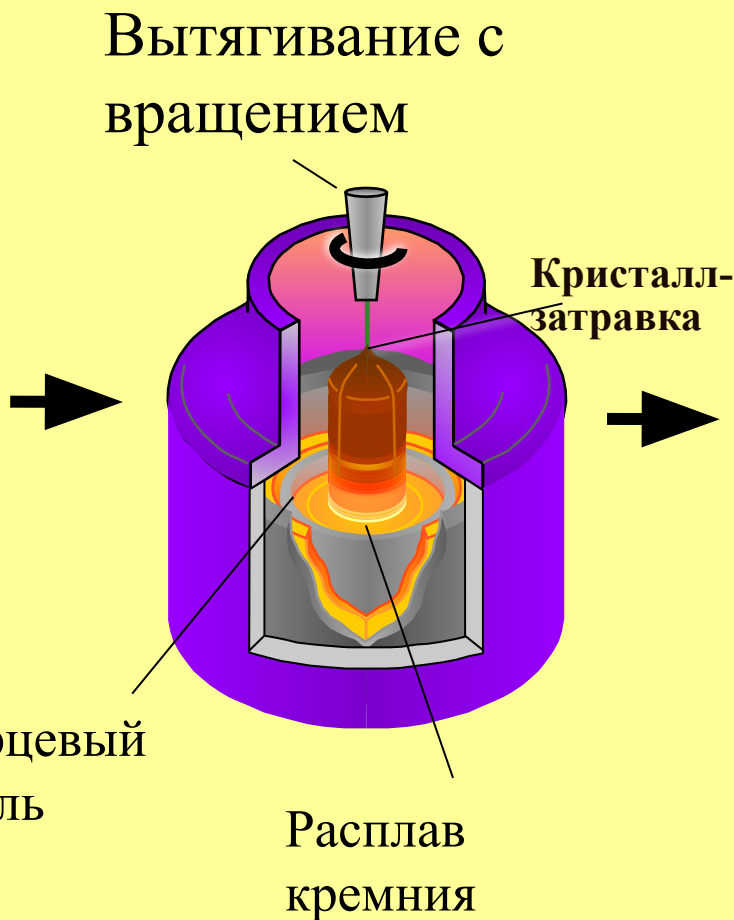


Получение монокристаллического кремния для микроэлектроники методом Чохральского



«Сырой» кремний

Кварцевый
тигель



Полученный
монокристалл

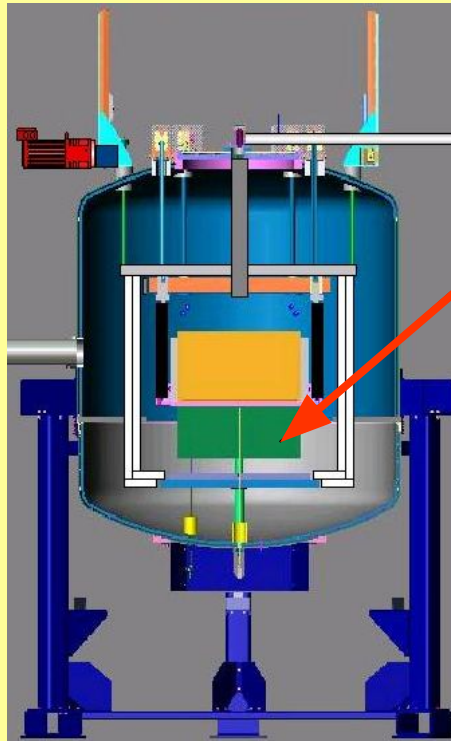
Монокристалл кремния



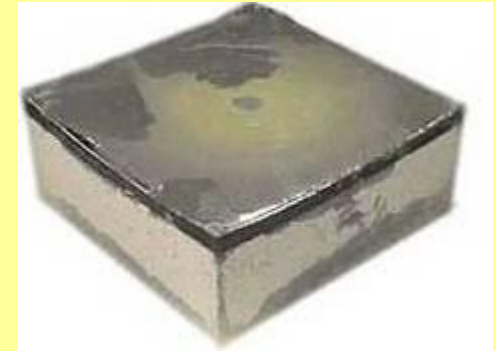
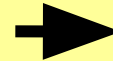
Получение поликристаллического кремния для солнечных батарей



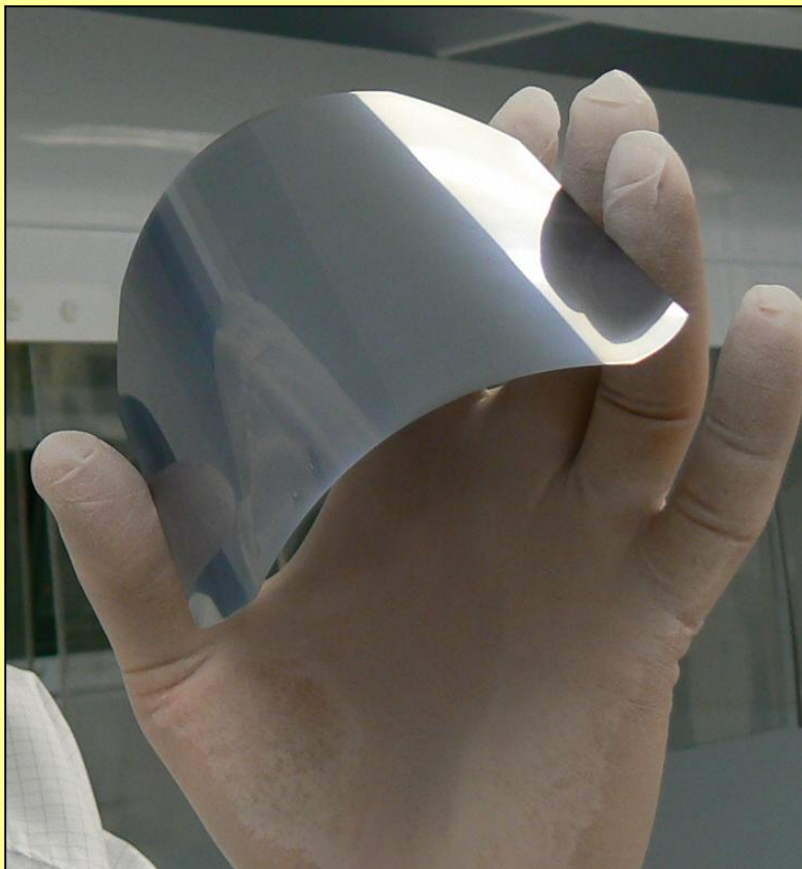
«Сырой» кремний



Кварцевый
тигель с расплавом
кремния

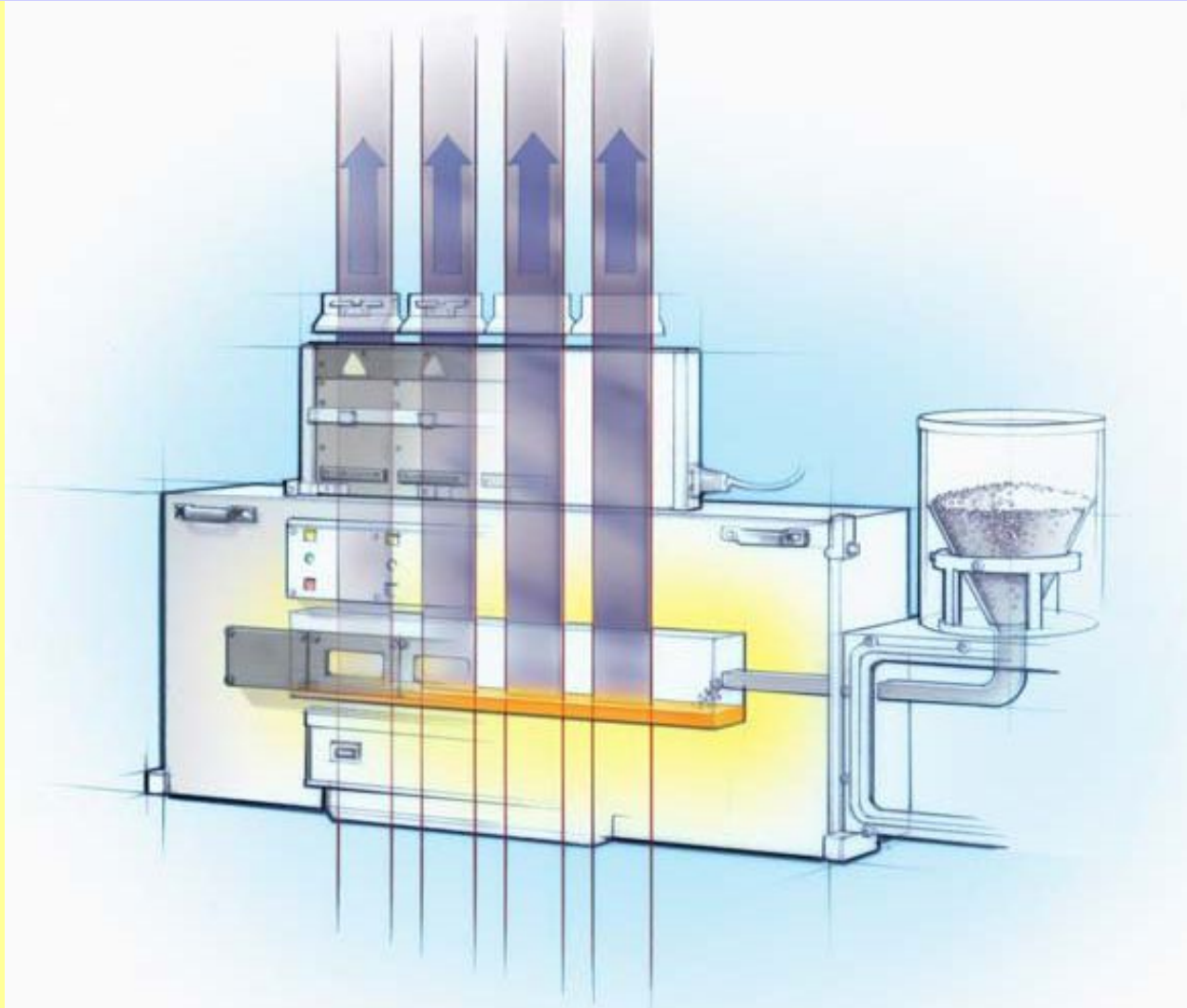


Выплавленный
поликристаллический
слиток

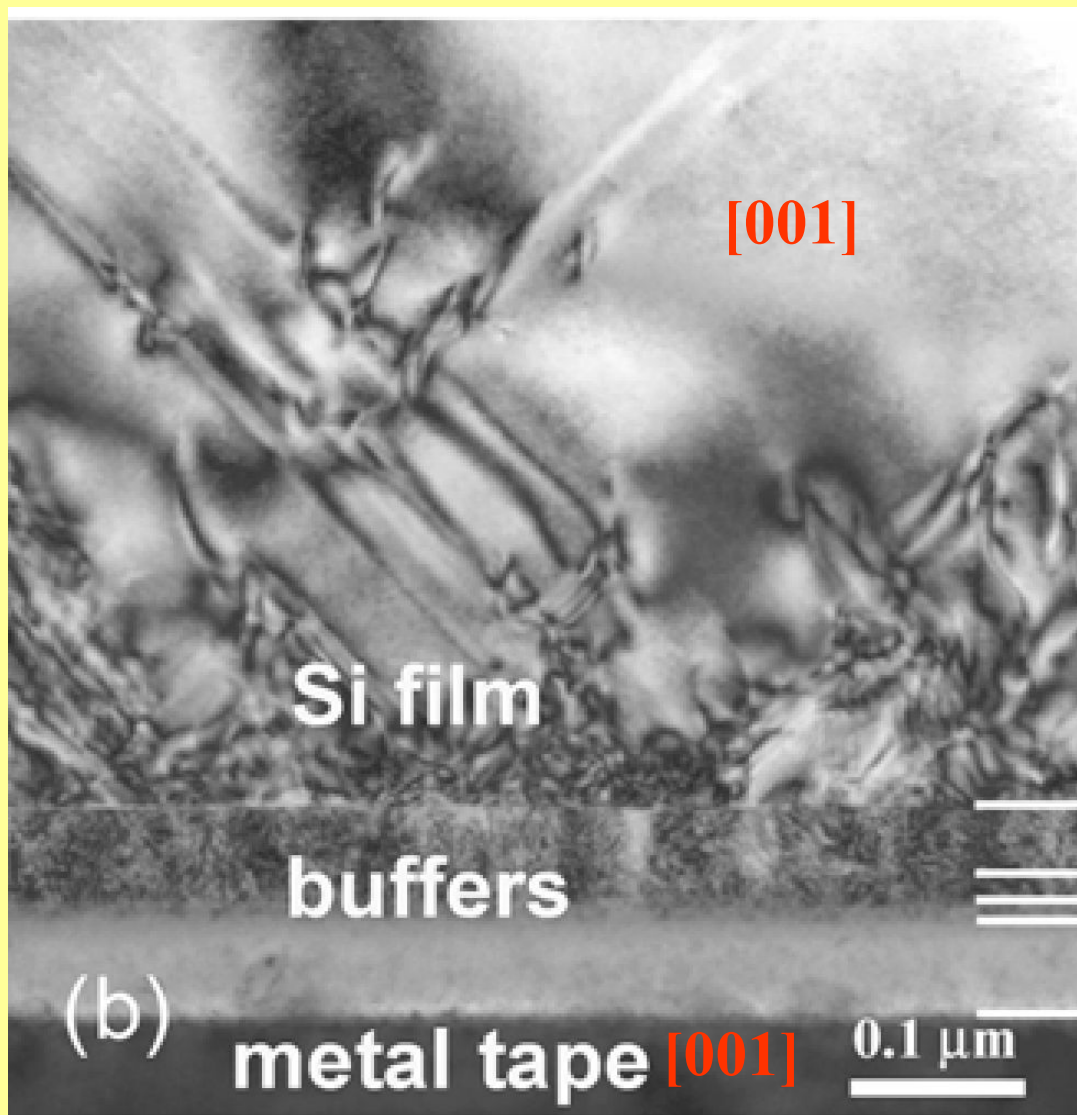


Пластина
поликристалли-
ческого солнечного
кремния
толщиной 50 мкм
и размером 125 x
125 мм

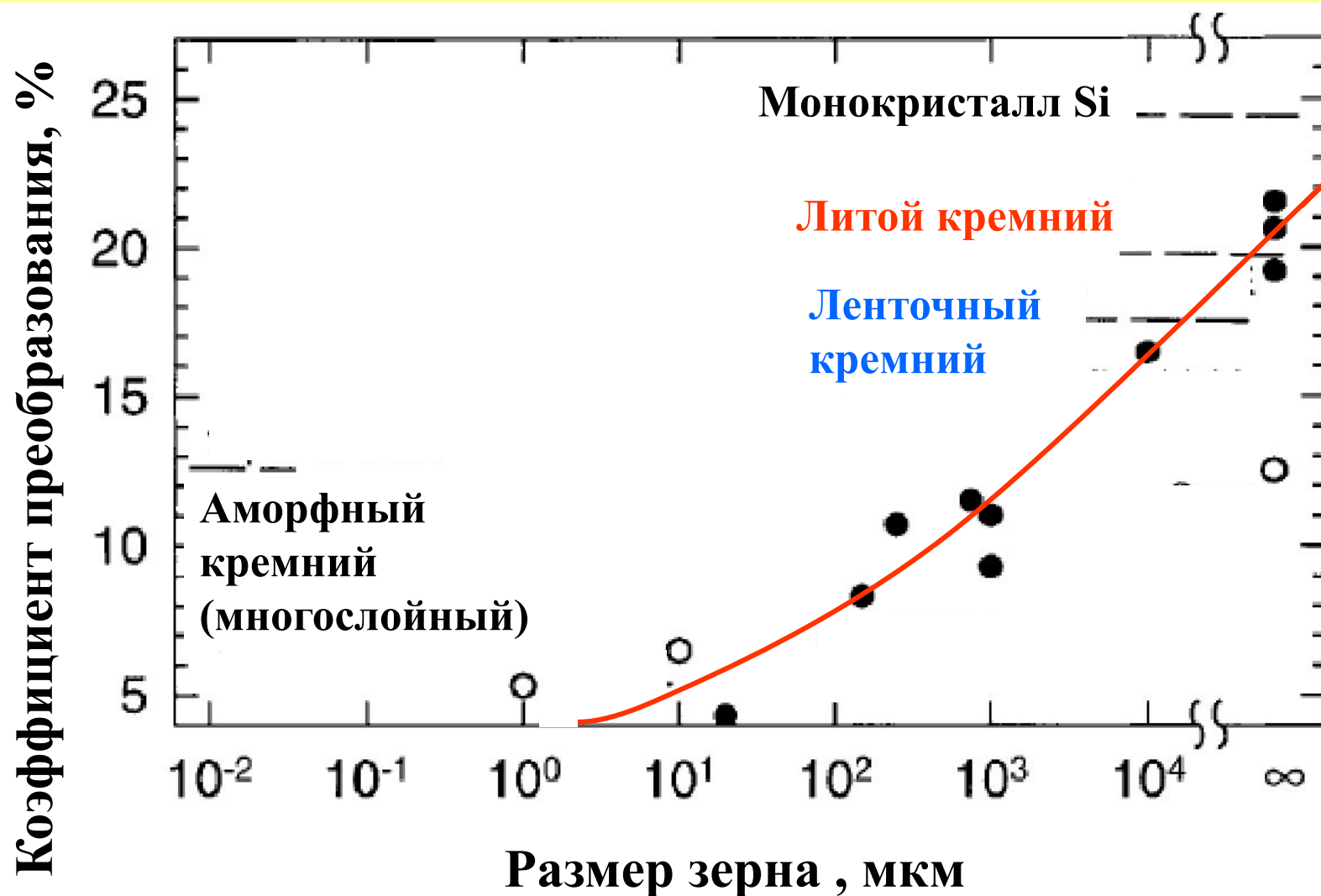
Вытягивание из расплава лент поликристаллического кремния для солнечной энергетики



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.**

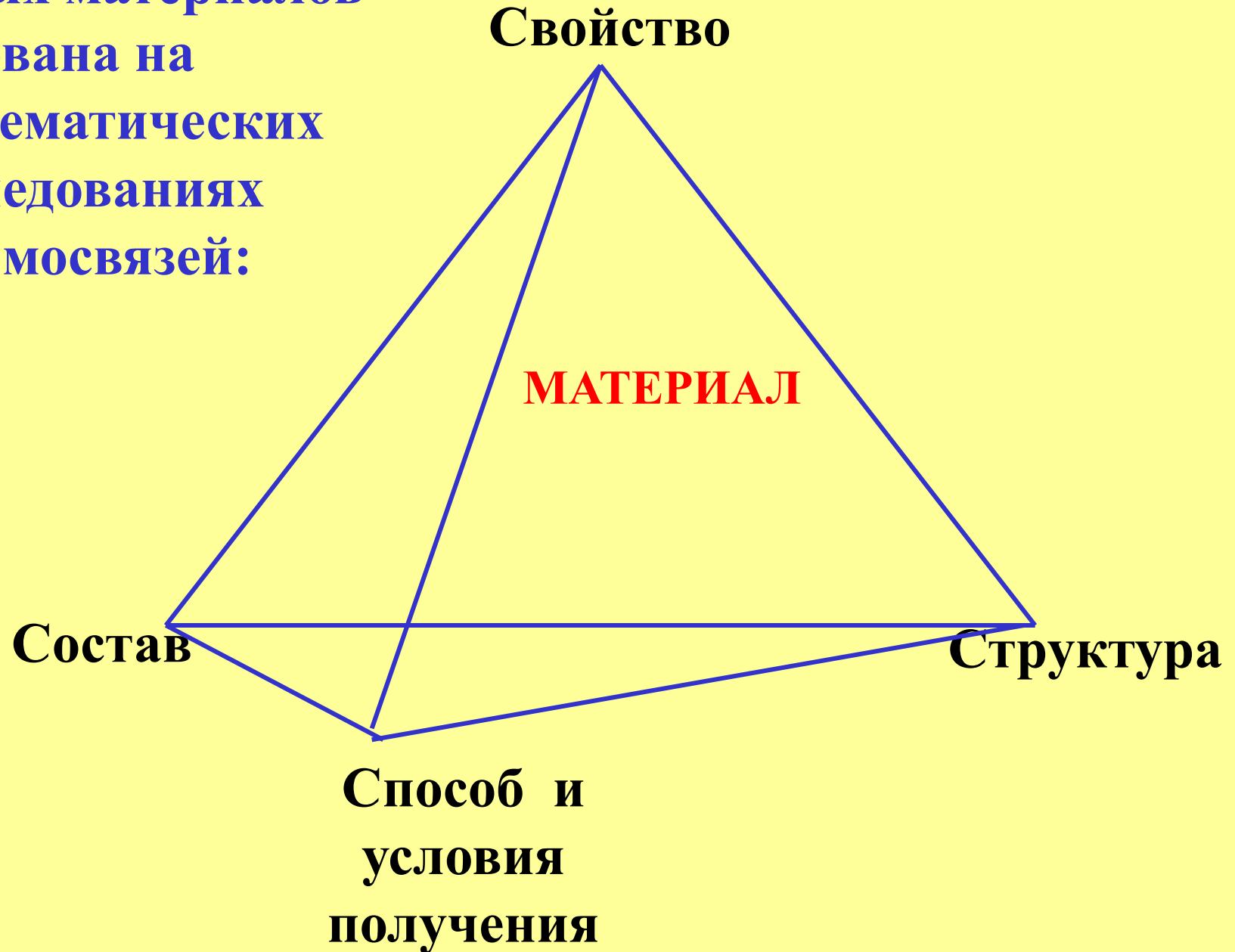
Самолет SolarImpulse, впервые перелетевший Америку, «питаясь» только энергией Солнца



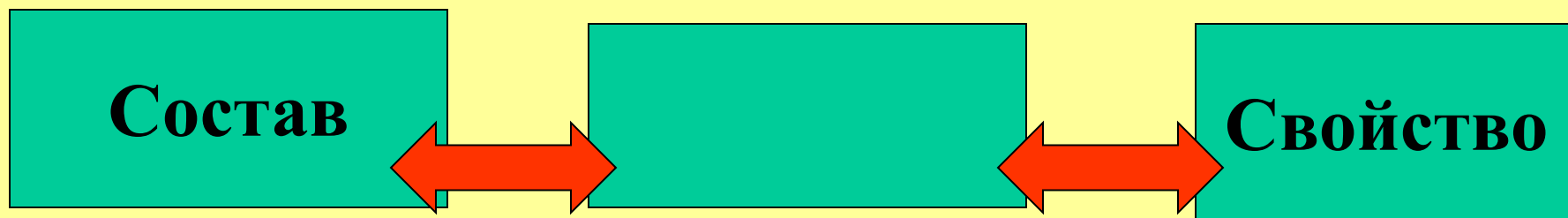
http://www.bbc.co.uk/russian/science/2013/07/130707_solar_plane_completion.shtml

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

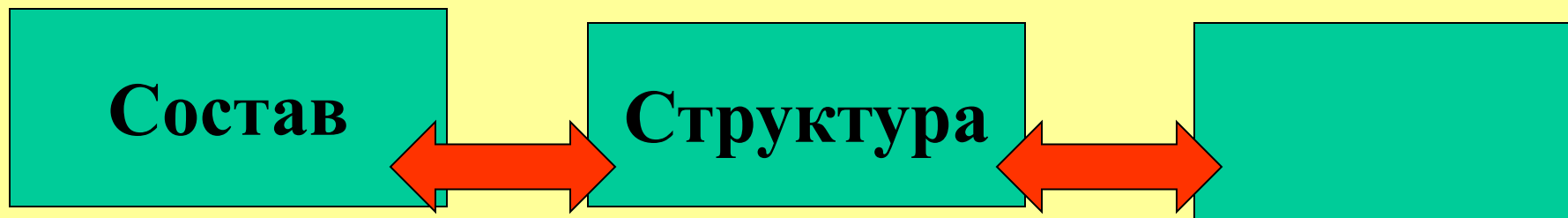
**Стратегия создания
новых материалов
основана на
систематических
исследованиях
взаимосвязей:**



**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:**



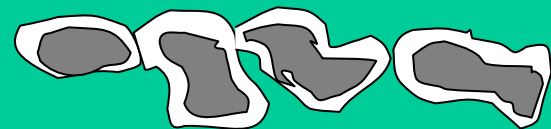
Современное понимание термина «состав»

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

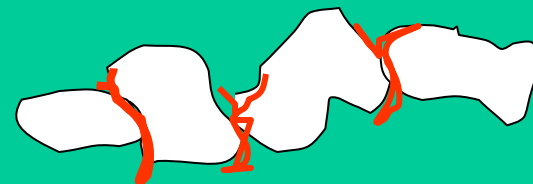
Zn, O

ZnO

ZnO_{1-x} (изолятор-
п/проводник)



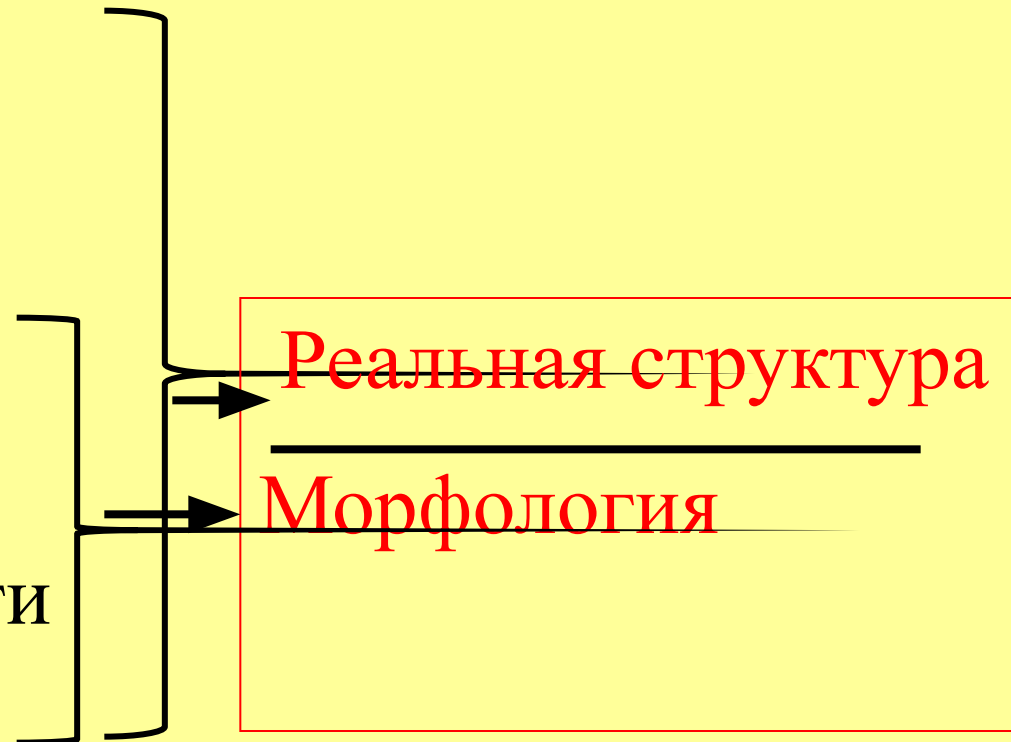
$(\text{Li, N})\text{-p}; (\text{Ga, Al})\text{-n}$



1 фаза, 2 фазы ?

Что понимают под термином «структура»?

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



Свойства материалов

- **Химические** (реакционная способность, каталитические св-ва).
- **Физические**
 - Механические**
 - Электрические**
 - Магнитные**
 - Оптические**
 - Радиационные**

и их комбинации
- **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 (Т,Р,состав),

но также от факторов микроструктуры:

-относительной плотности (пористости)

-среднего размера кристаллитов

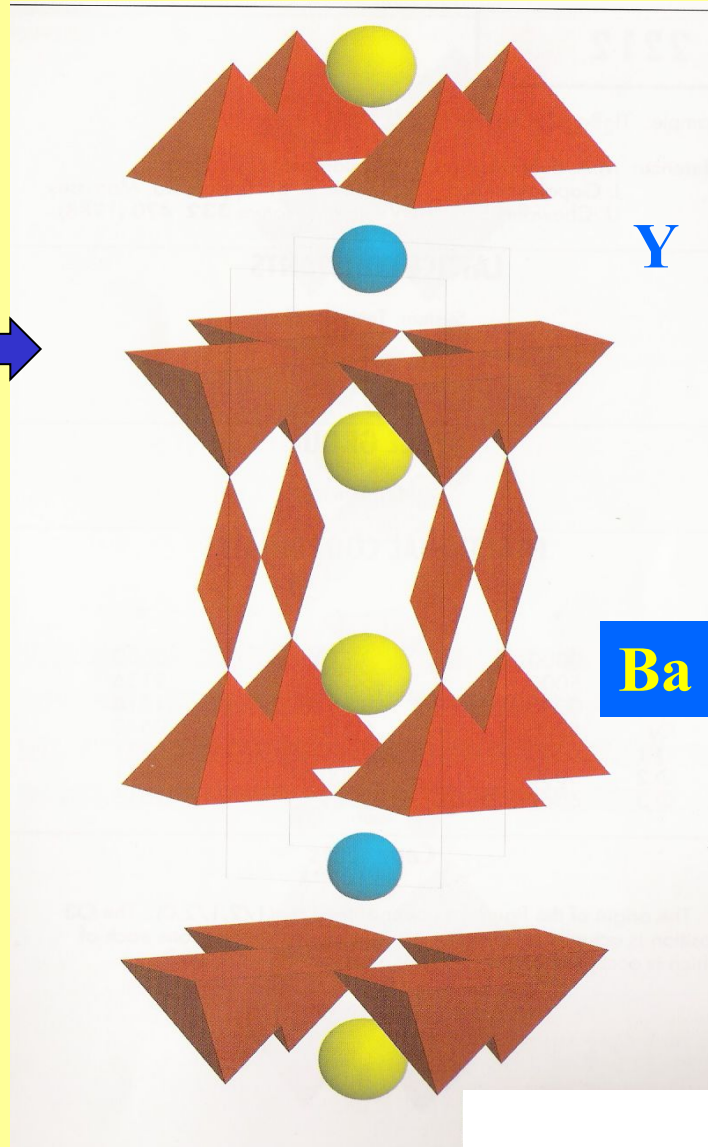
-текстуры

Анизотропия критического тока высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Плоскости
[CuO₂]



$T_c \sim 92 \text{ K}$



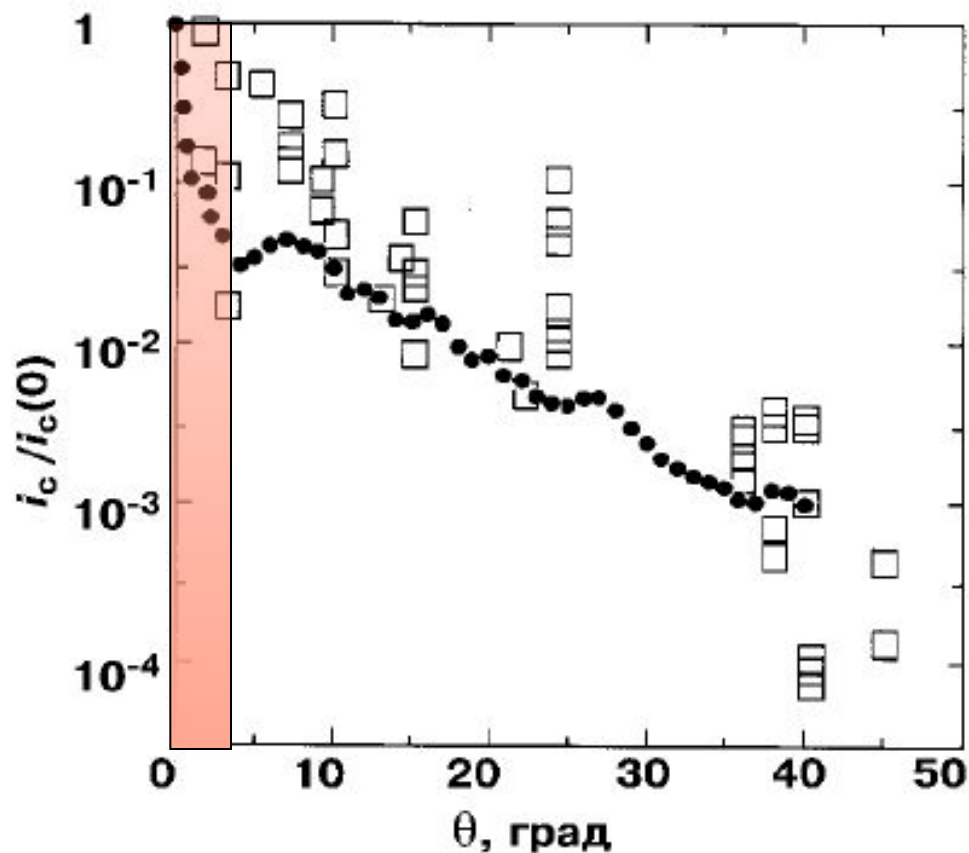


Рис.2. Зависимость критического тока бикристаллических $YBaCuO$ -пленок от угла разориентации кристаллитов. $\square$ — эксперимент, $\bullet$ — расчет по модели случайно расположенных дислокаций.

J_c резко зависит от угла разориентации зерен
высокотемпературного сверхпроводника

Микроструктура керамики сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$



— 0,1 мкм

$T_c \sim 92 \text{ K}$

J_c :

в керамике $\sim 10^1 - 10^3 \text{ A/cm}^2$

в монокристалле $\sim 10^4 \text{ A/cm}^2$

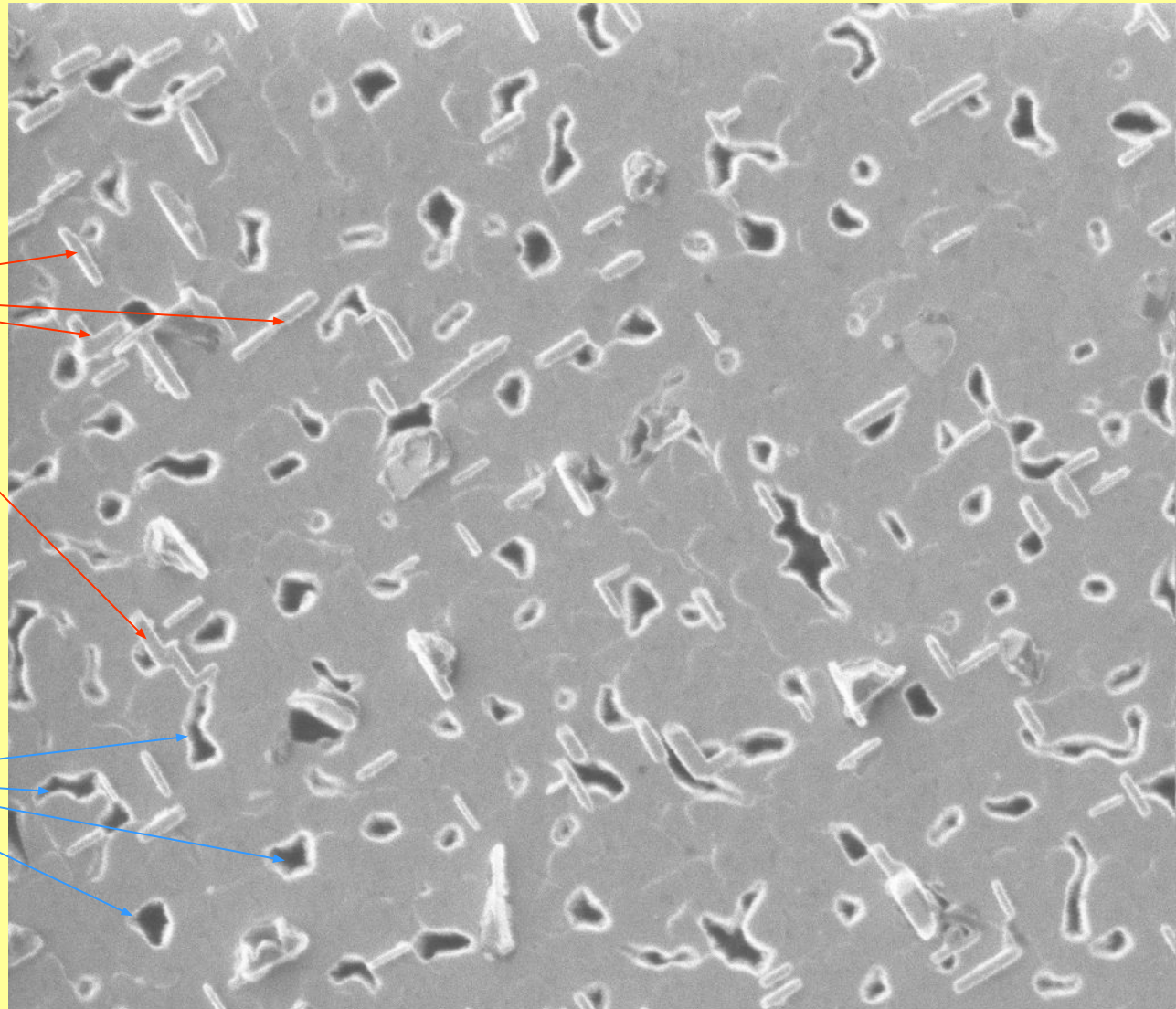
в эпитаксиальных тонких
пленках $> 10^6 \text{ A/cm}^2$

Морфология поверхности пленки



Зерна a -ориентированной фазы YBaCuO

Микропоры

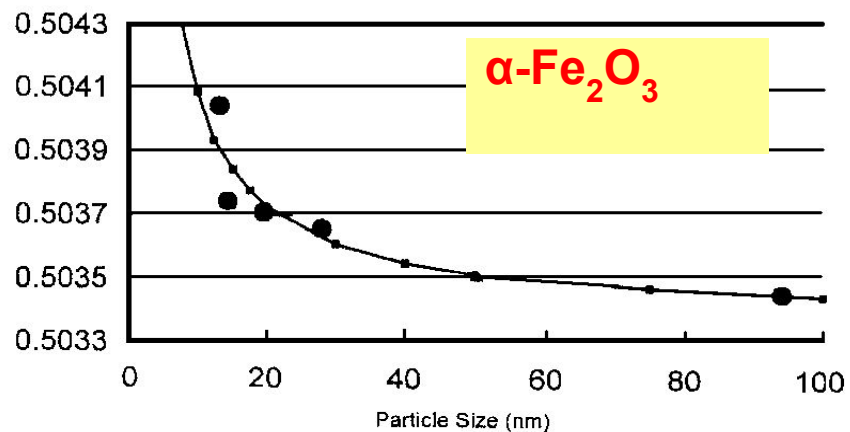
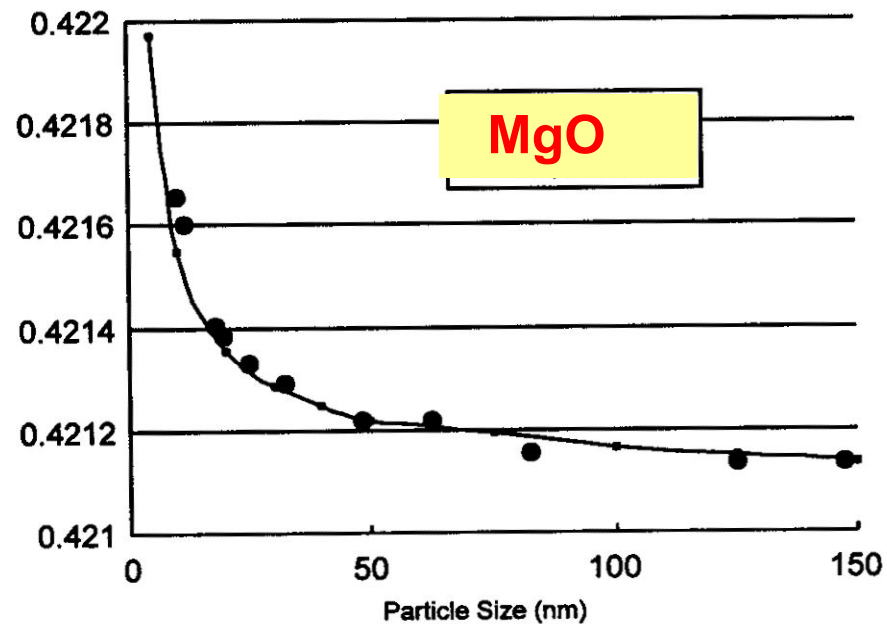
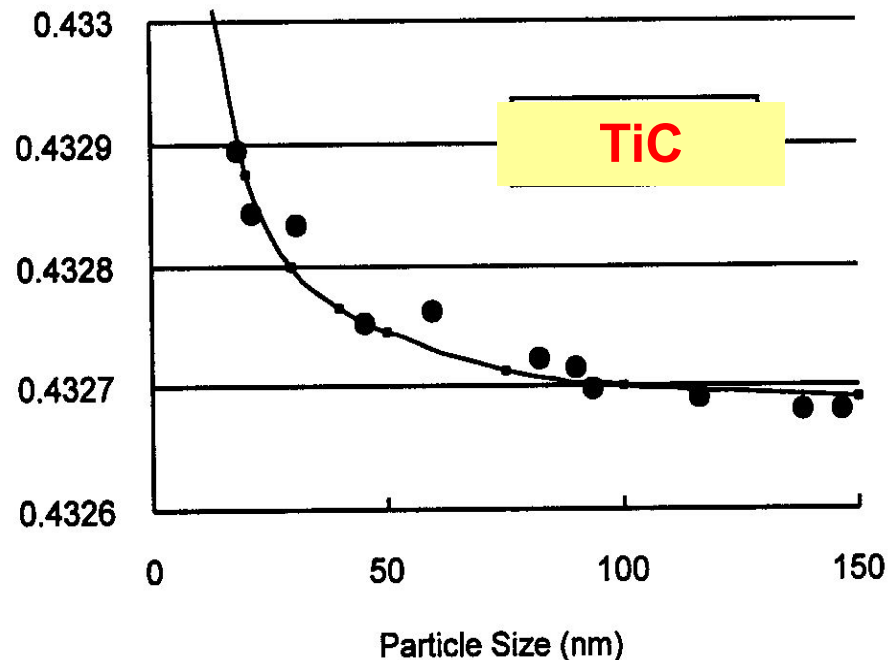


Beam	Mag	Det	FWD	Tilt	Scan	pA	 2 μm
30.0 kV	25.0 kX	CDM-E	17.0	0.0°	H 11.77 s	13.0	

Свойства наноматериалов структурно-чувствительны:

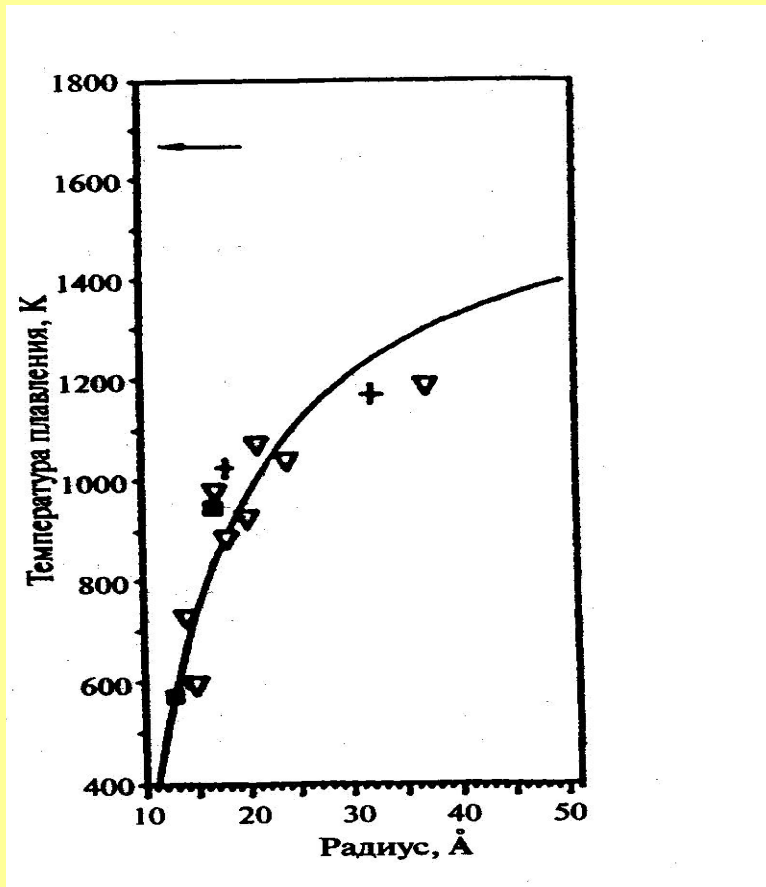
структурная чувствительность свойств наноматериалов определяется огромной концентрацией границ зерен, а также изменением фундаментальных характеристик веществ при изменении размера частиц до величины порядка нескольких параметров эл.ячеек.

Измерение параметра решетки при изменении размера наночастиц



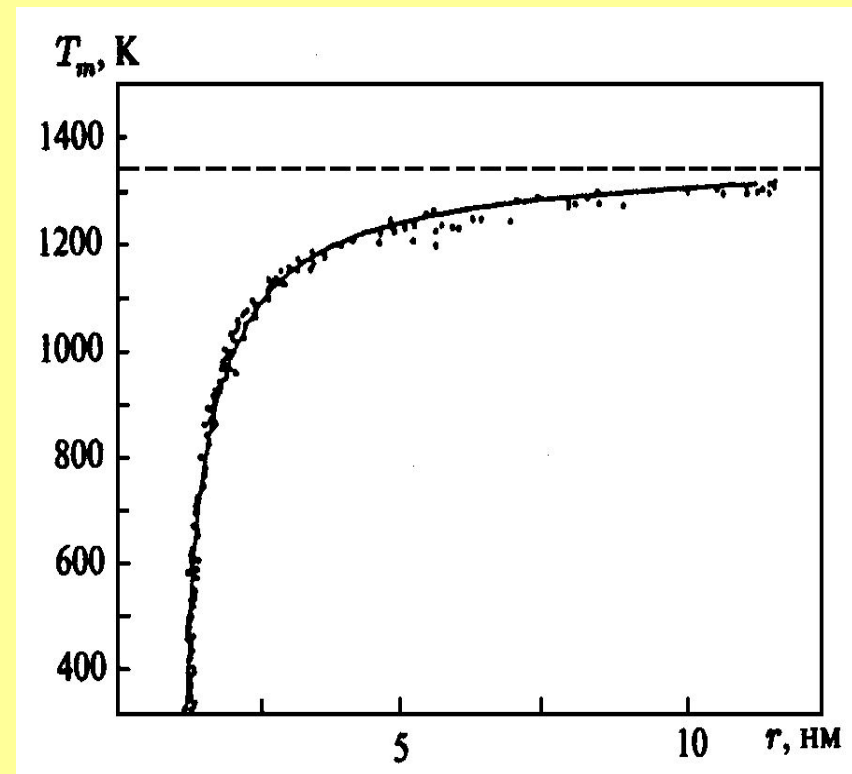
Изменение температур плавления нановеществ в зависимости от размеров частиц

Изменение температуры плавления CdS



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

Изменение температуры плавления золота



Материалы



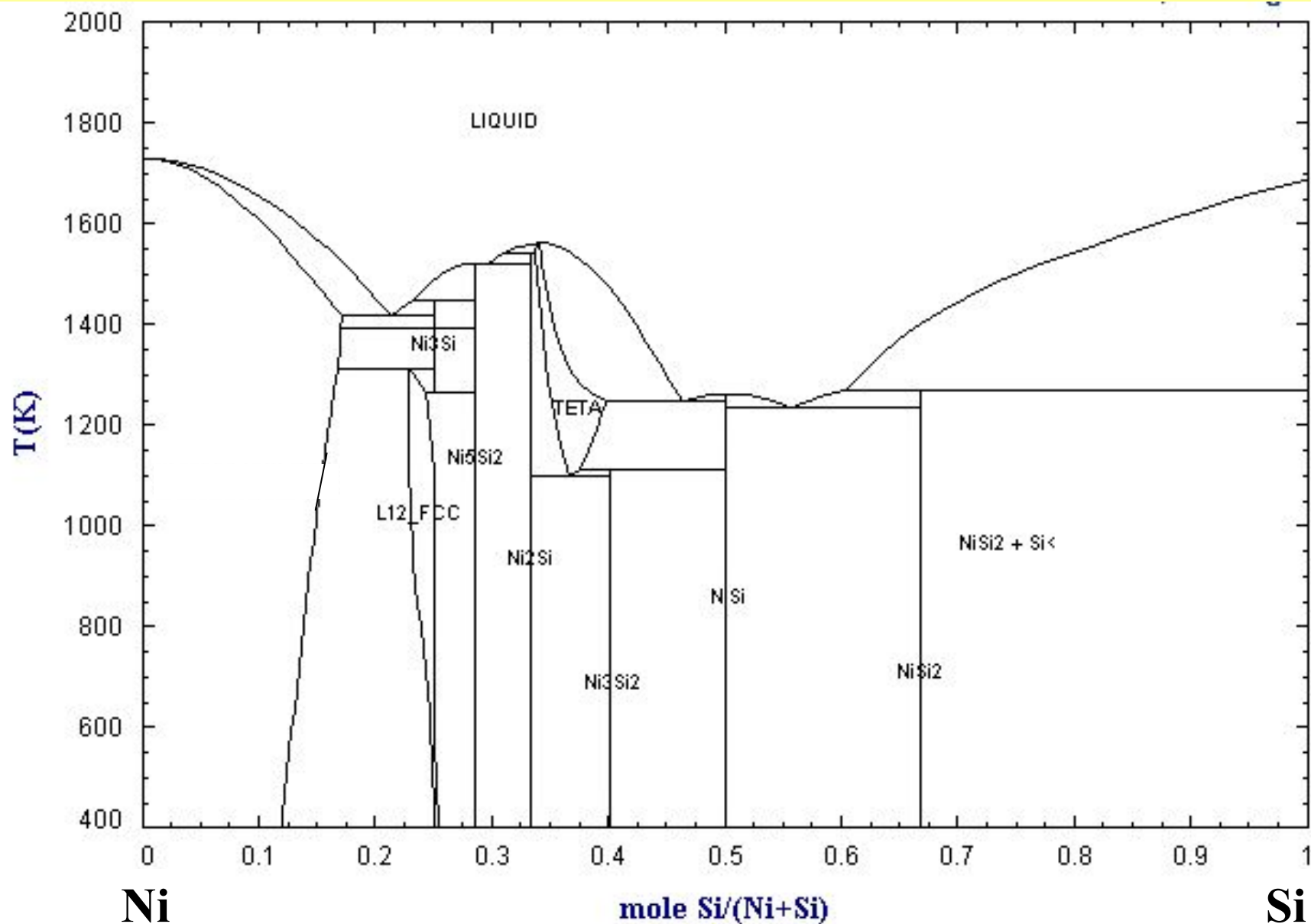
Равновесные

Неравновесные

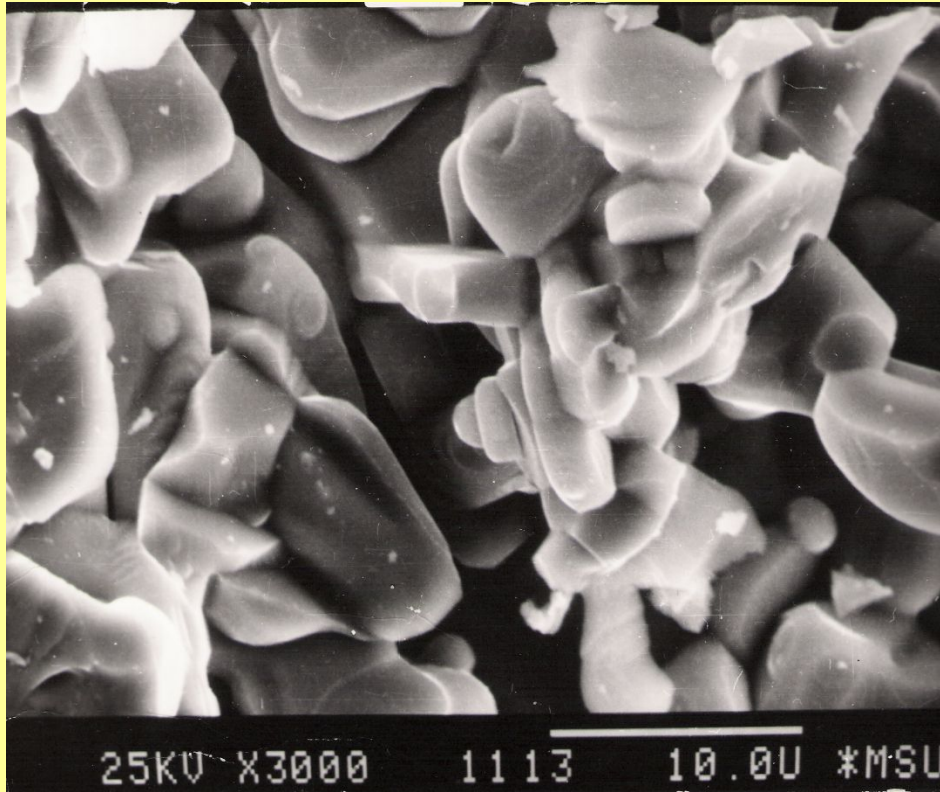
Примеры неравновесных материалов, метастабильных при н.у. в окружающей атмосфере

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

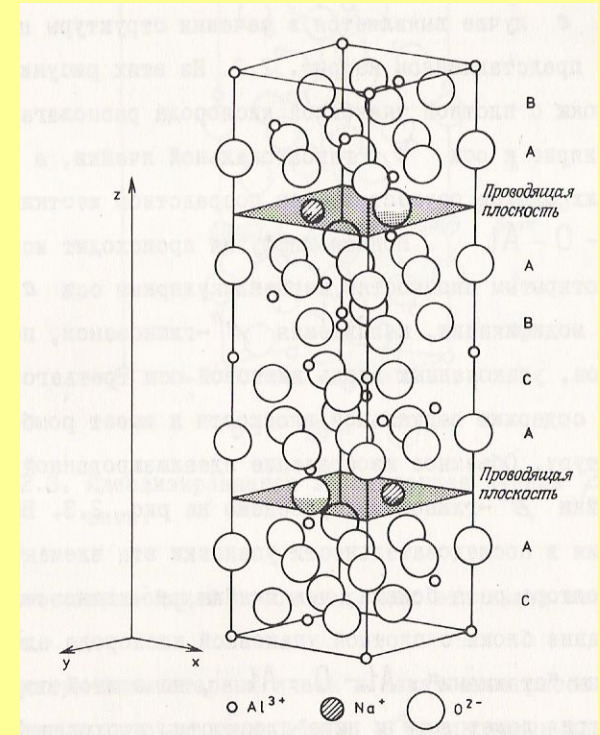
Равновесная фазовая диаграмма системы - ключ к пониманию особенностей материала и его технологии



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.