

# «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

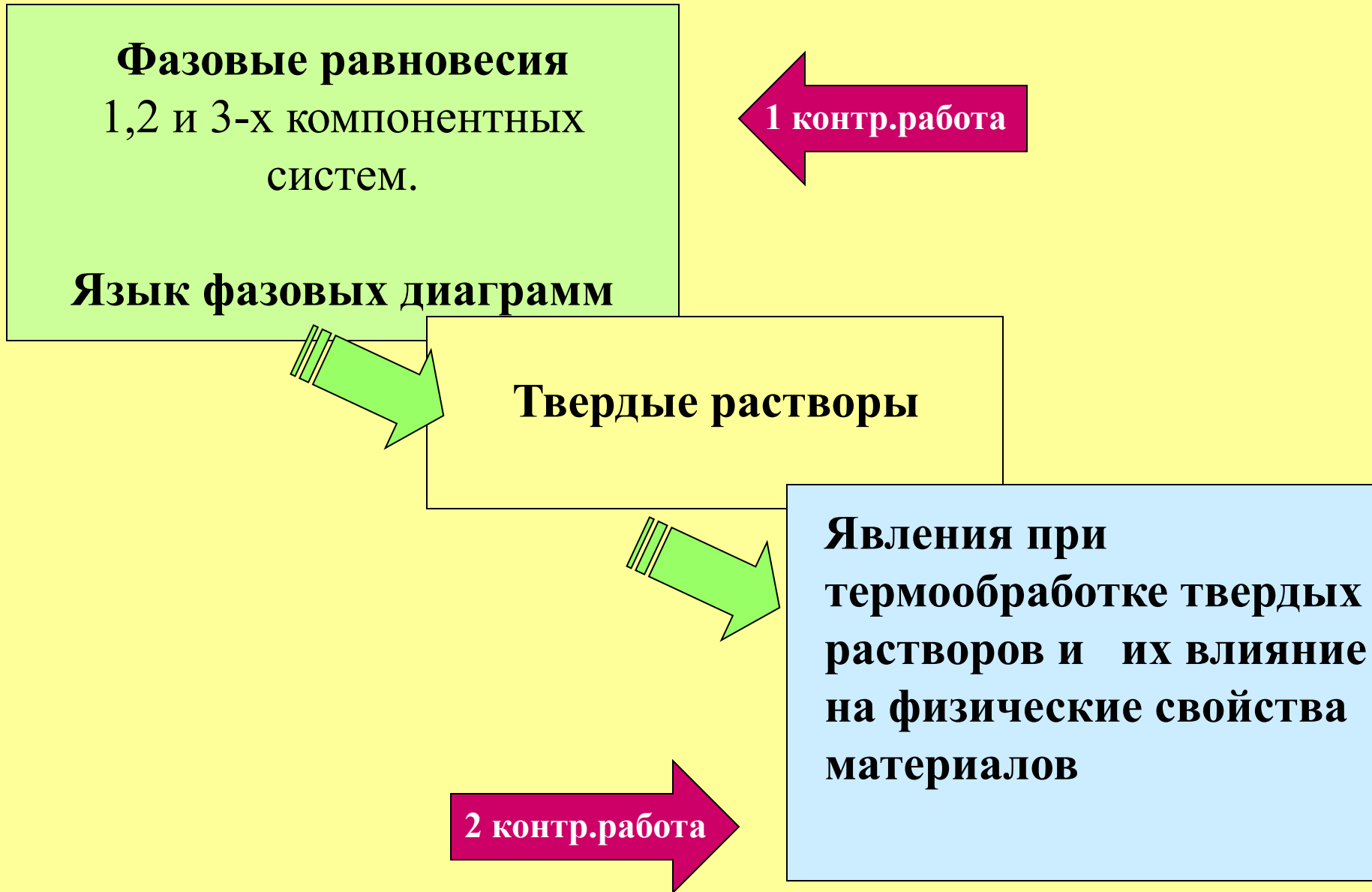
# **Направленность курса:**

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 :

**Каменный век**



**Бронзовый век**



**Железный век**

~3000 лет до Н.Э.

~1000 лет до Н.Э.

# Важнейшие материалы, формировавшие облик цивилизации

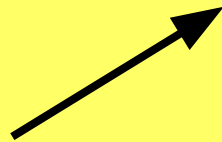
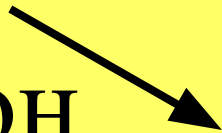
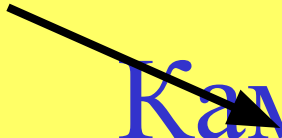
## Строительство:

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

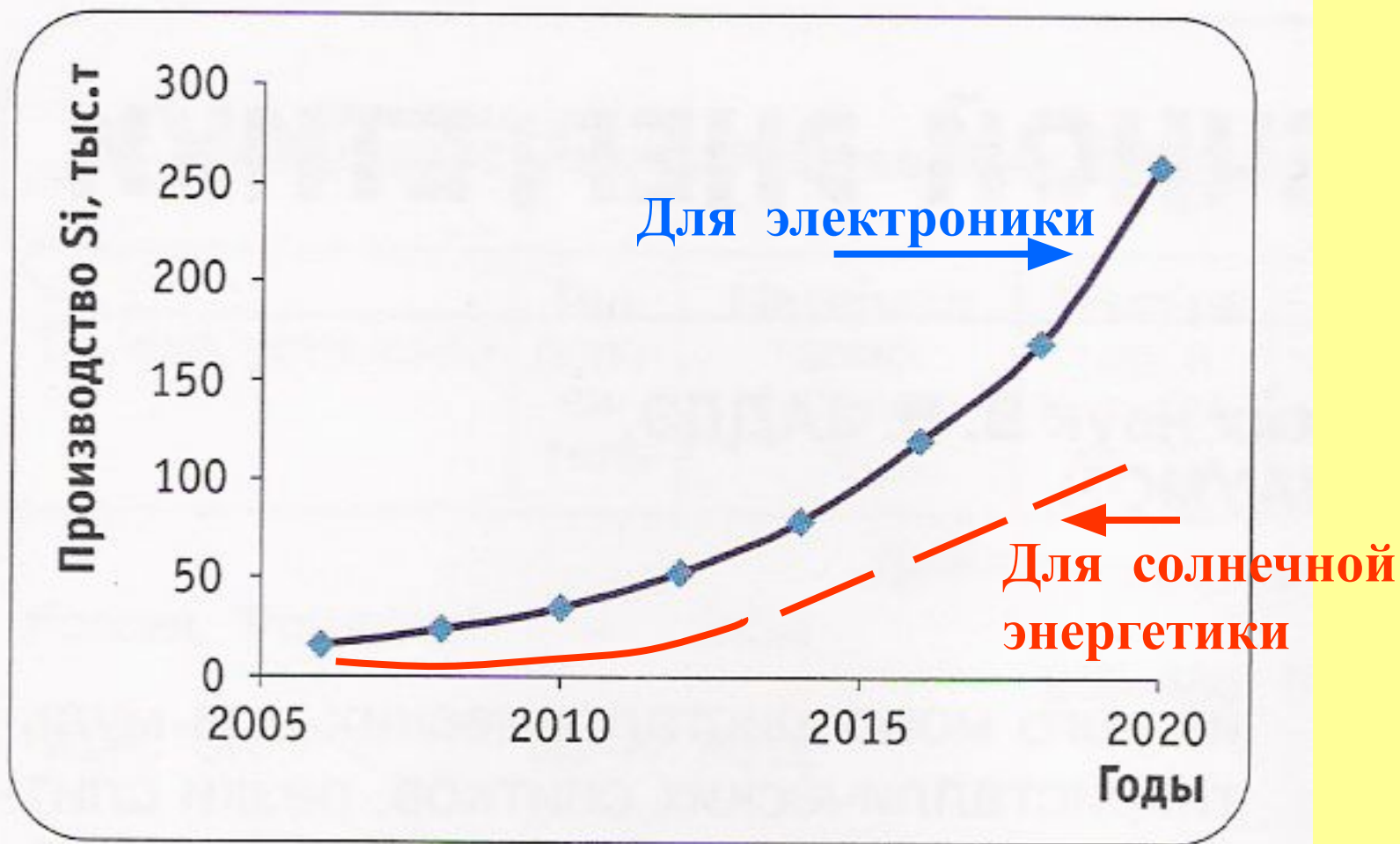
Кремний





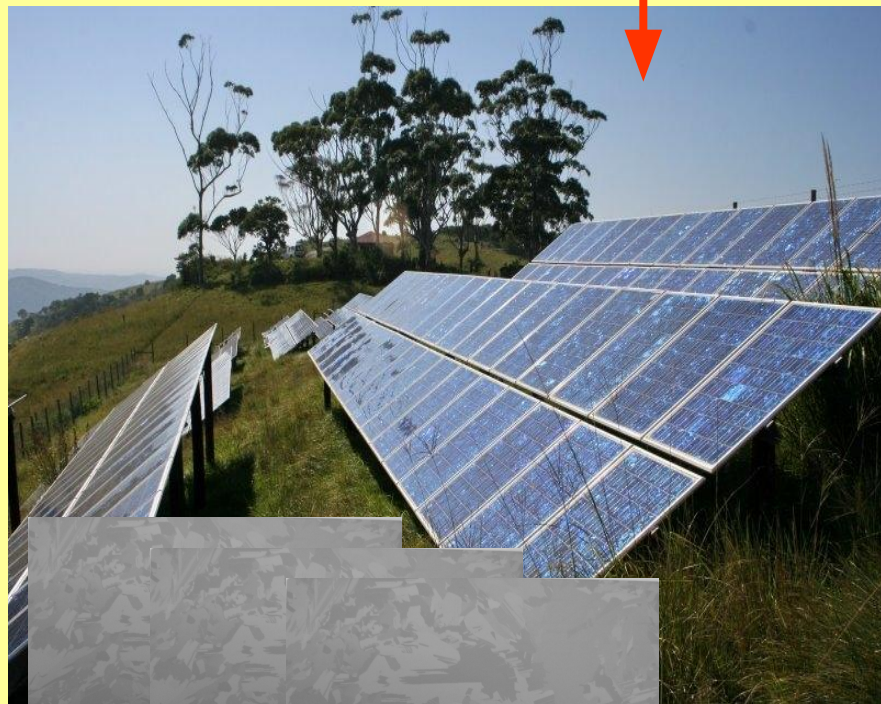
Особенность современного  
материаловедения –  
разработка материалов для  
решения **конкретной задачи.**

# Полупроводниковый кремний – важнейший материал современности и будущего



Динамика производства чистого кремния в мире

# Солнечные панели на основе монокристаллического и поликристаллического кремния

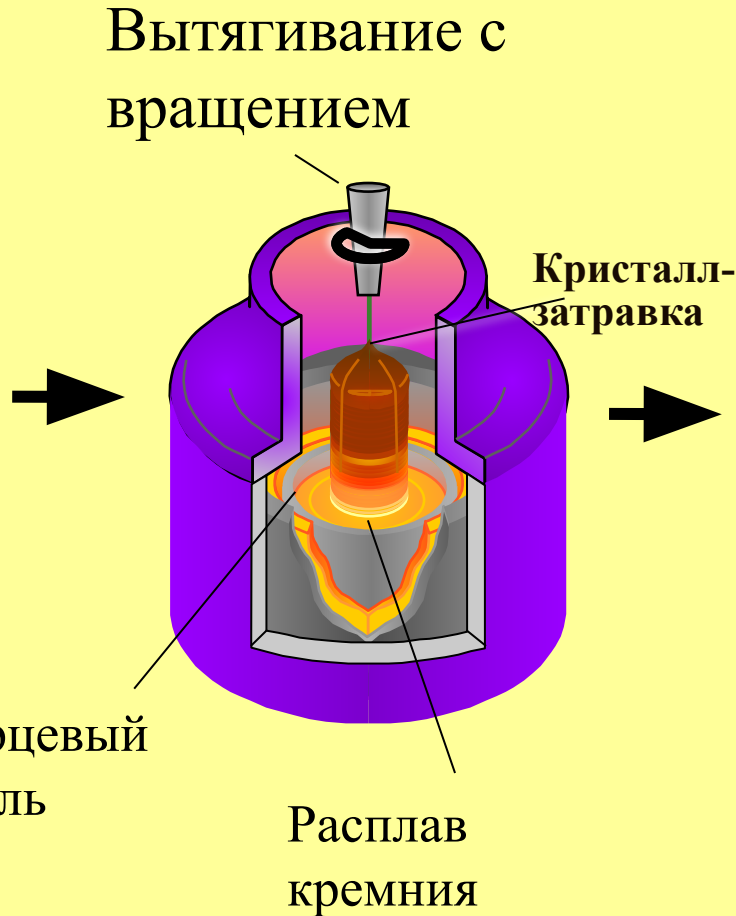


# Получение монокристаллического кремния для микроэлектроники методом Чохральского



«Сырой» кремний

Кварцевый  
тигель



Полученный  
монокристалл

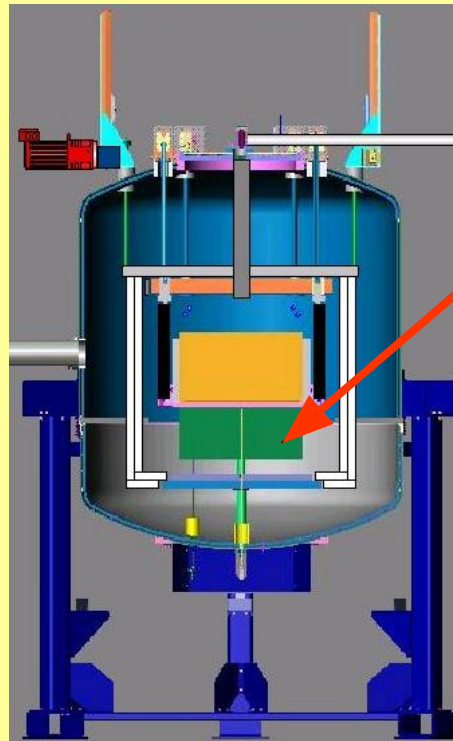
# Монокристалл кремния



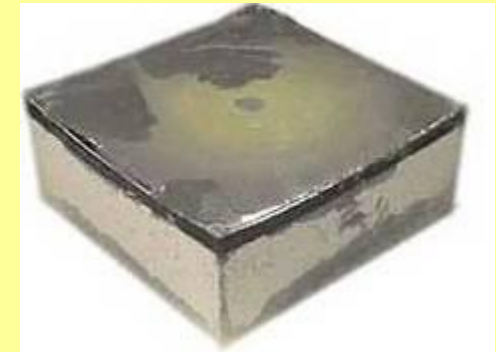
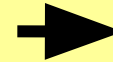
# Получение поликристаллического кремния для солнечных батарей



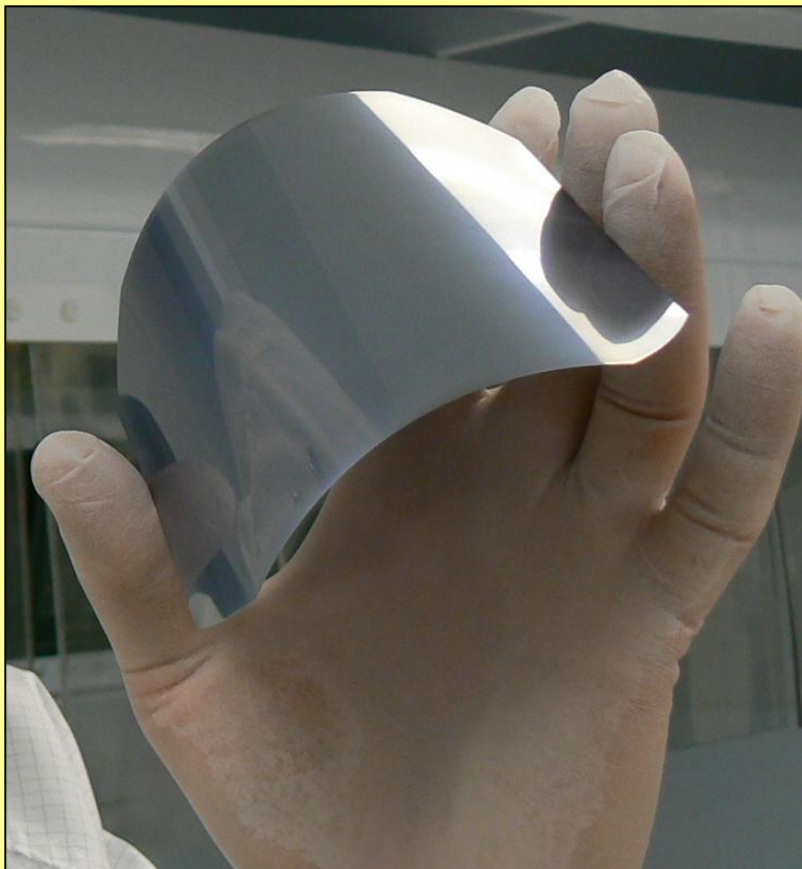
«Сырой» кремний



Кварцевый  
тигель с расплавом  
кремния

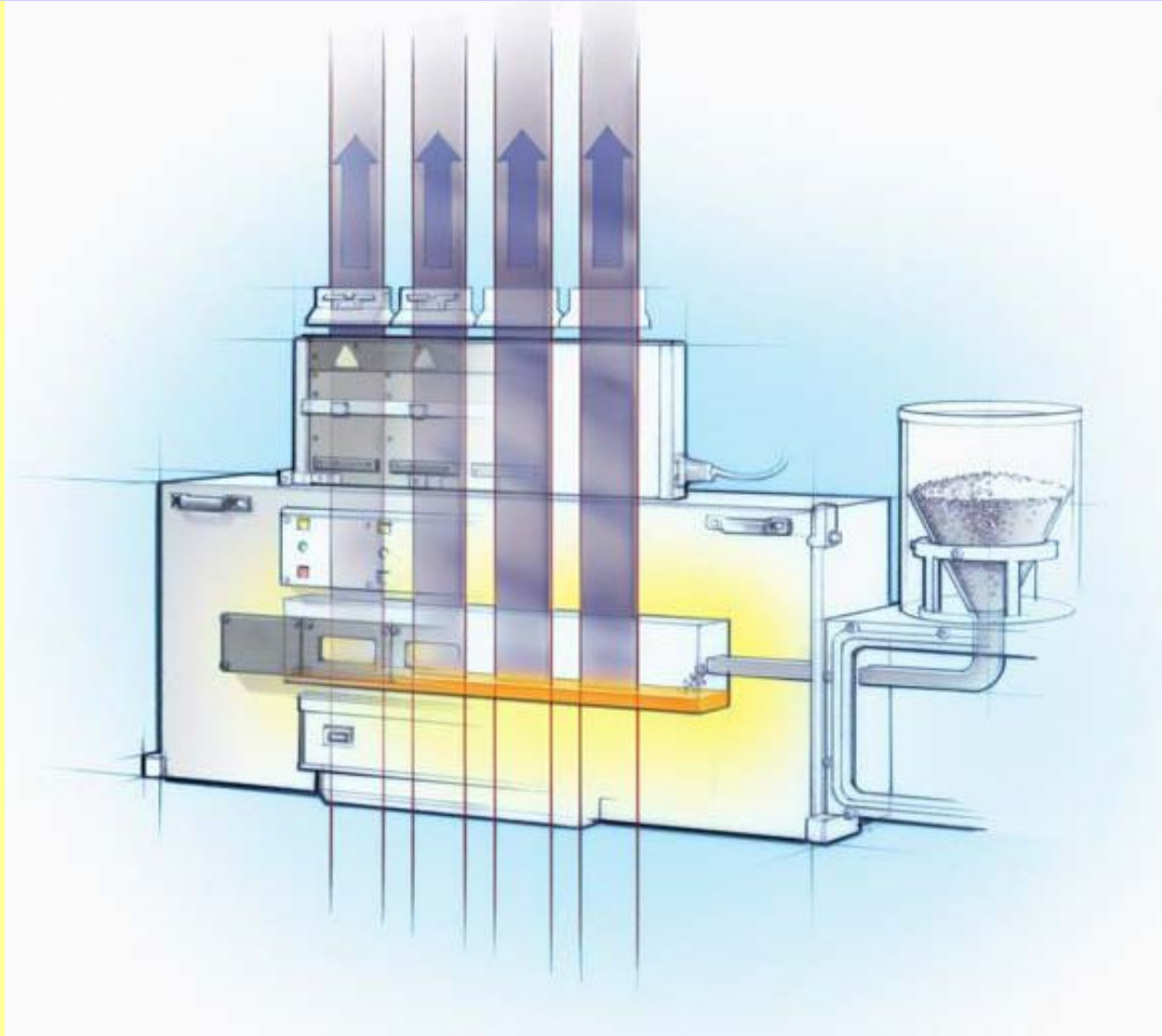


Выплавленный  
поликристаллический  
слиток



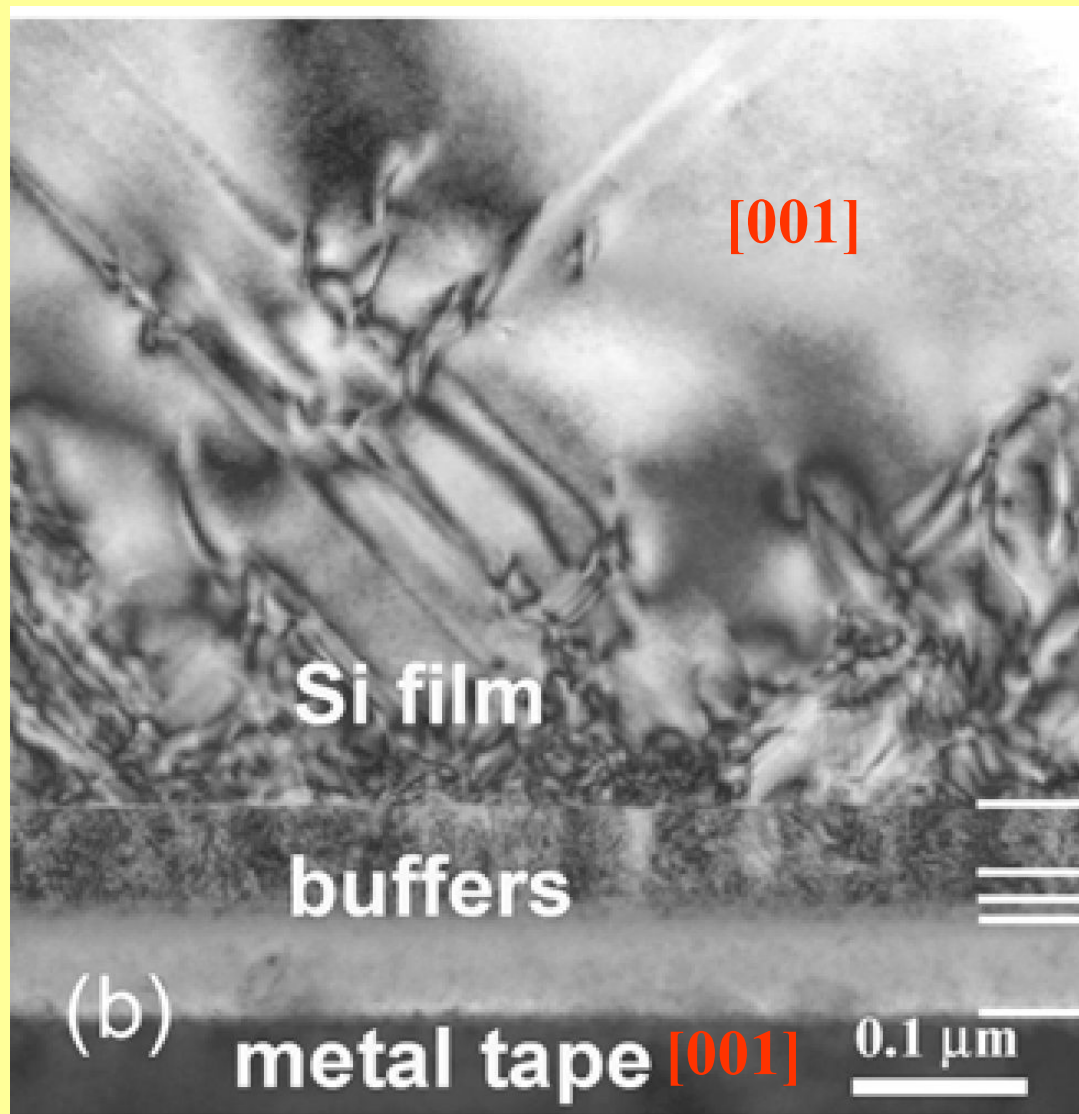
*Пластина  
поликристалли-  
ческого солнечного  
кремния  
**толщиной 50 мкм**  
и размером 125 x  
125 мм*

# Вытягивание из расплава лент поликристаллического кремния для солнечной энергетики

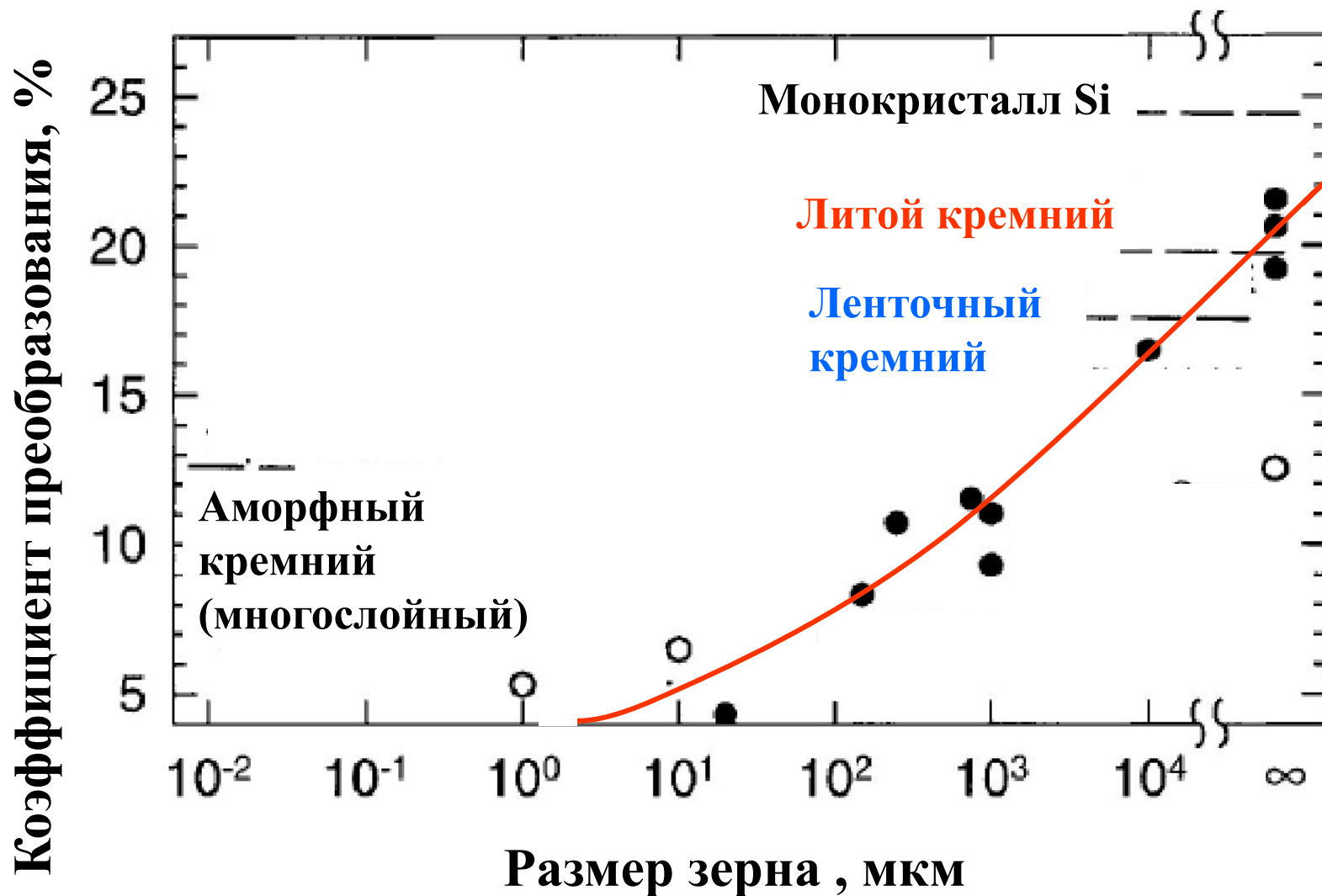




# Ориентированные кремниевые пленки на металлической подложке



# 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.

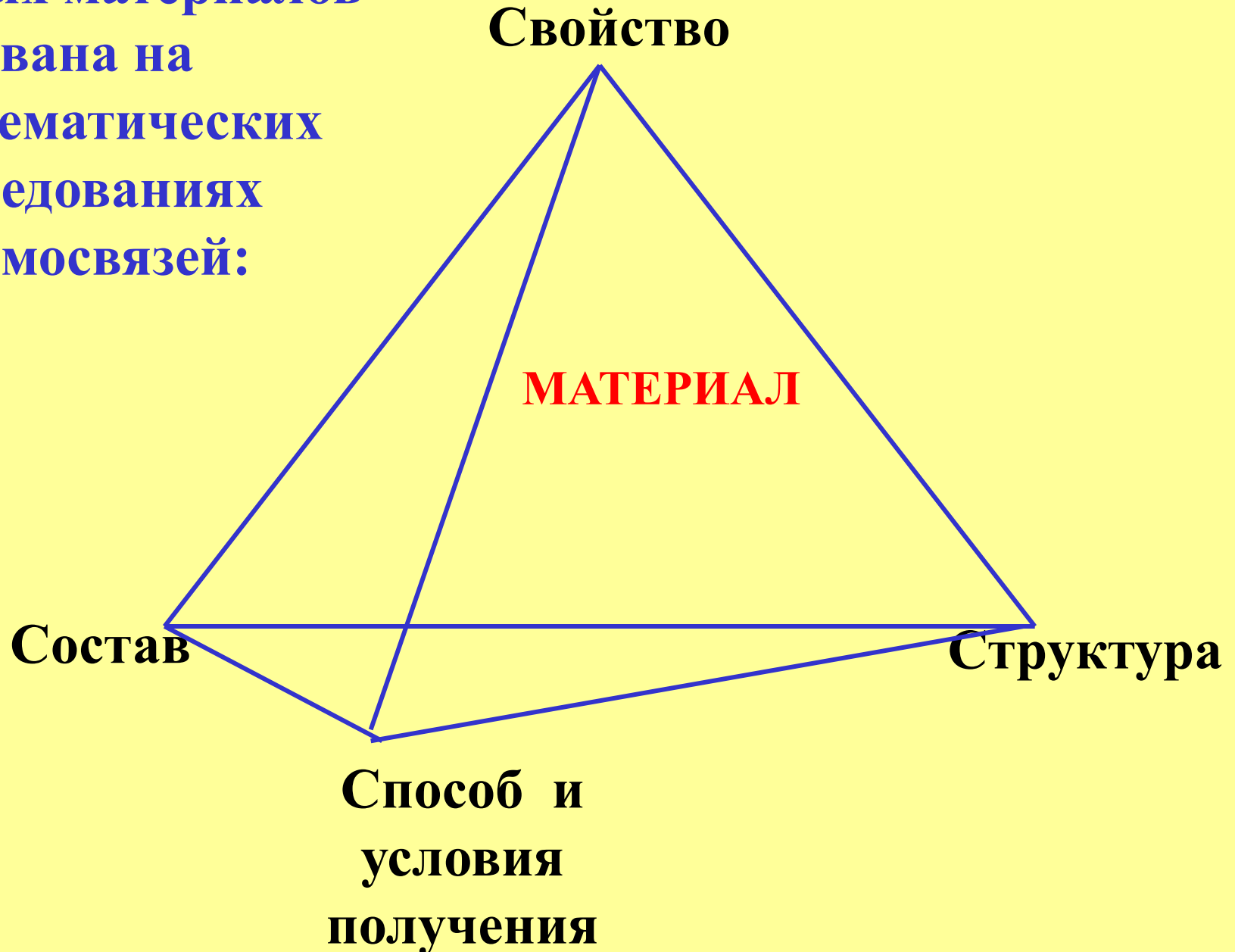
# Самолет SolarImpulse, впервые перелетевший Америку, «питаясь» только энергией Солнца



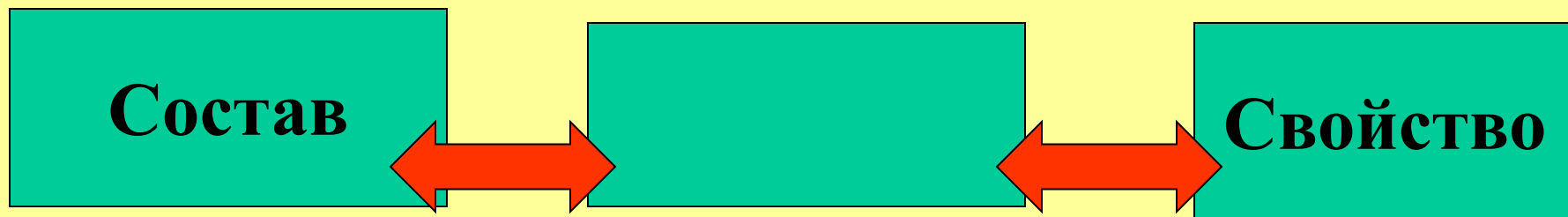
[http://www.bbc.co.uk/russian/science/2013/07/130707\\_solar\\_plane\\_completion.shtml](http://www.bbc.co.uk/russian/science/2013/07/130707_solar_plane_completion.shtml)

Модель 2: [http://www.gazeta.ru/science/video/samolet\\_na\\_solnechnyh\\_batareyah.shtml](http://www.gazeta.ru/science/video/samolet_na_solnechnyh_batareyah.shtml)

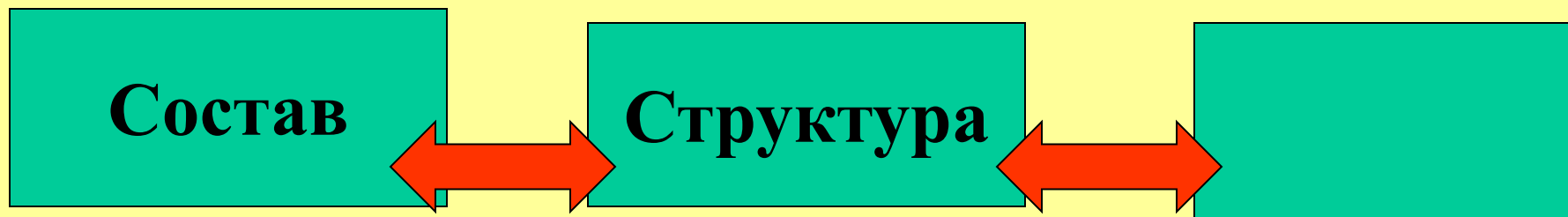
**Стратегия создания  
новых материалов  
основана на  
систематических  
исследованиях  
взаимосвязей:**



**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:**



**«Подход  
физика»**



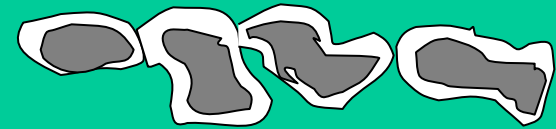
# Современное понимание термина «состав»

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

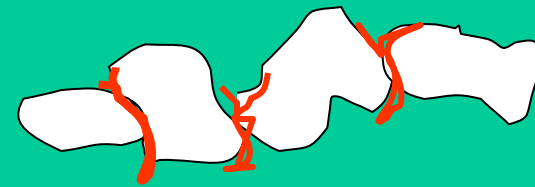
Zn, O

ZnO

ZnO<sub>1-x</sub> (изолятор-  
п/проводник)



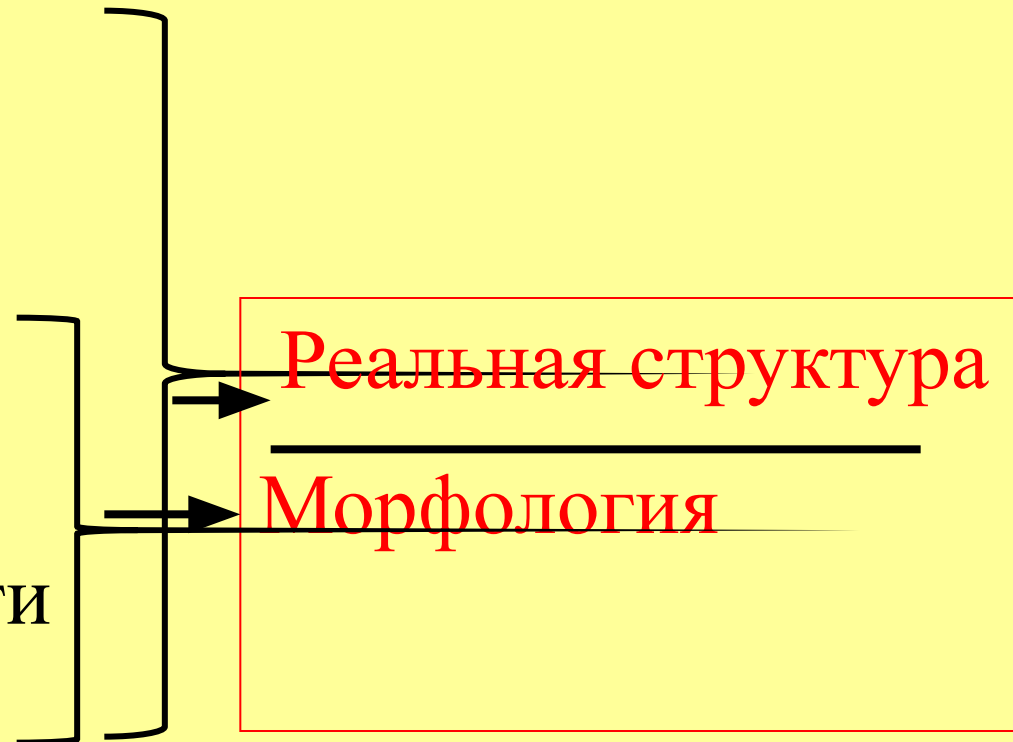
(Li, N) -p; (Ga, Al)-n



1 фаза, 2 фазы ?

# Что понимают под термином «структура»?

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



# 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**



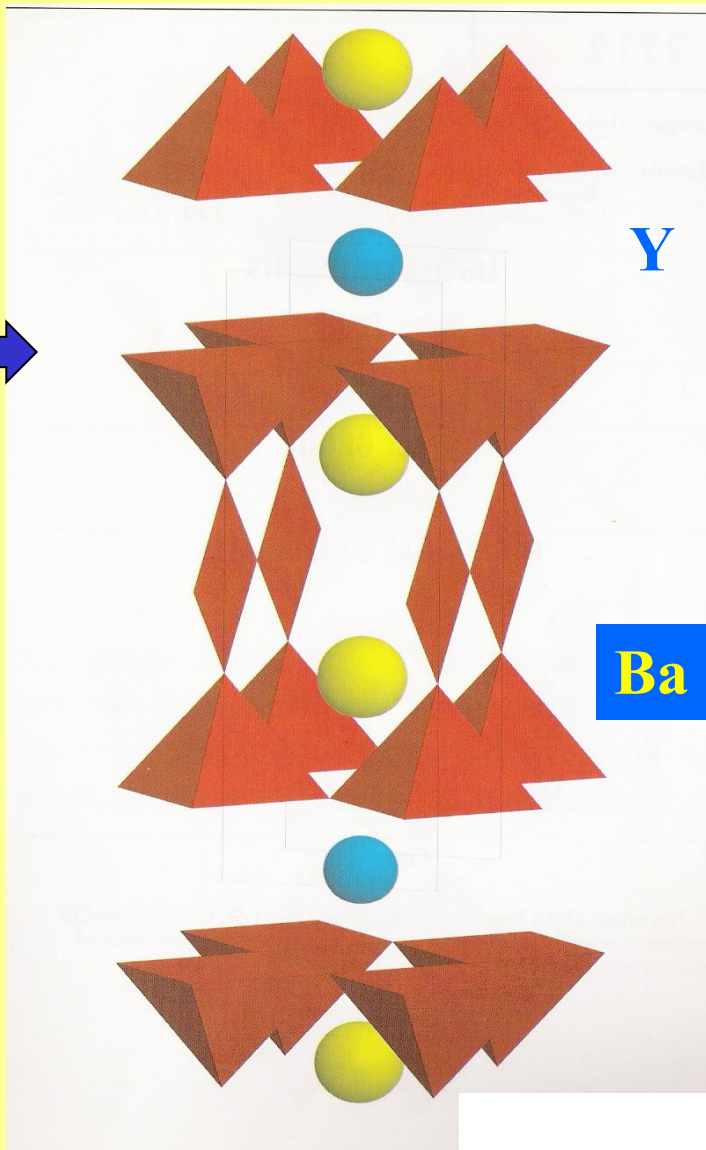
# Анизотропия критического тока высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Плоскости

$[\text{CuO}_2]$



$T_c \sim 92 \text{ K}$



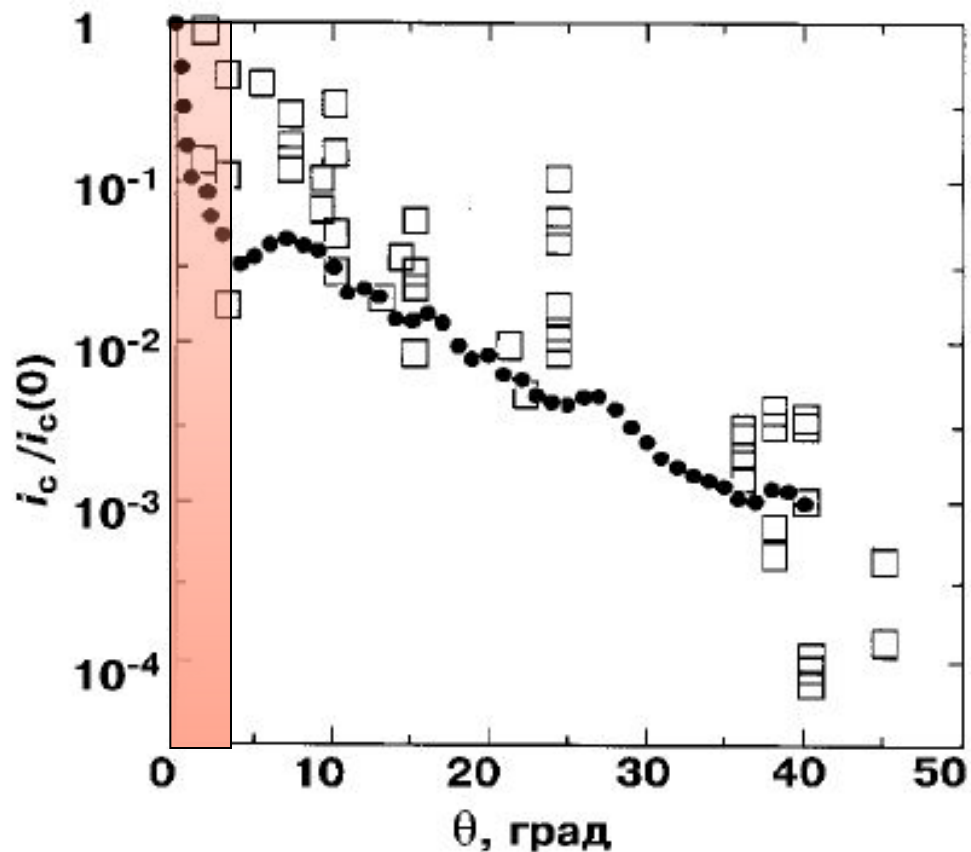


Рис.2. Зависимость критического тока бикристаллических  $YBaCuO$ -пленок от угла разориентации кристаллитов.  $\square$  — эксперимент,  $\bullet$  — расчет по модели случайно расположенных дислокаций.

$J_c$  резко зависит от угла разориентации зерен высокотемпературного сверхпроводника

# Микроструктура керамики сверхпроводника



— 0,1 мкм

$T_c \sim 92 \text{ K}$

$J_c$ :

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

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

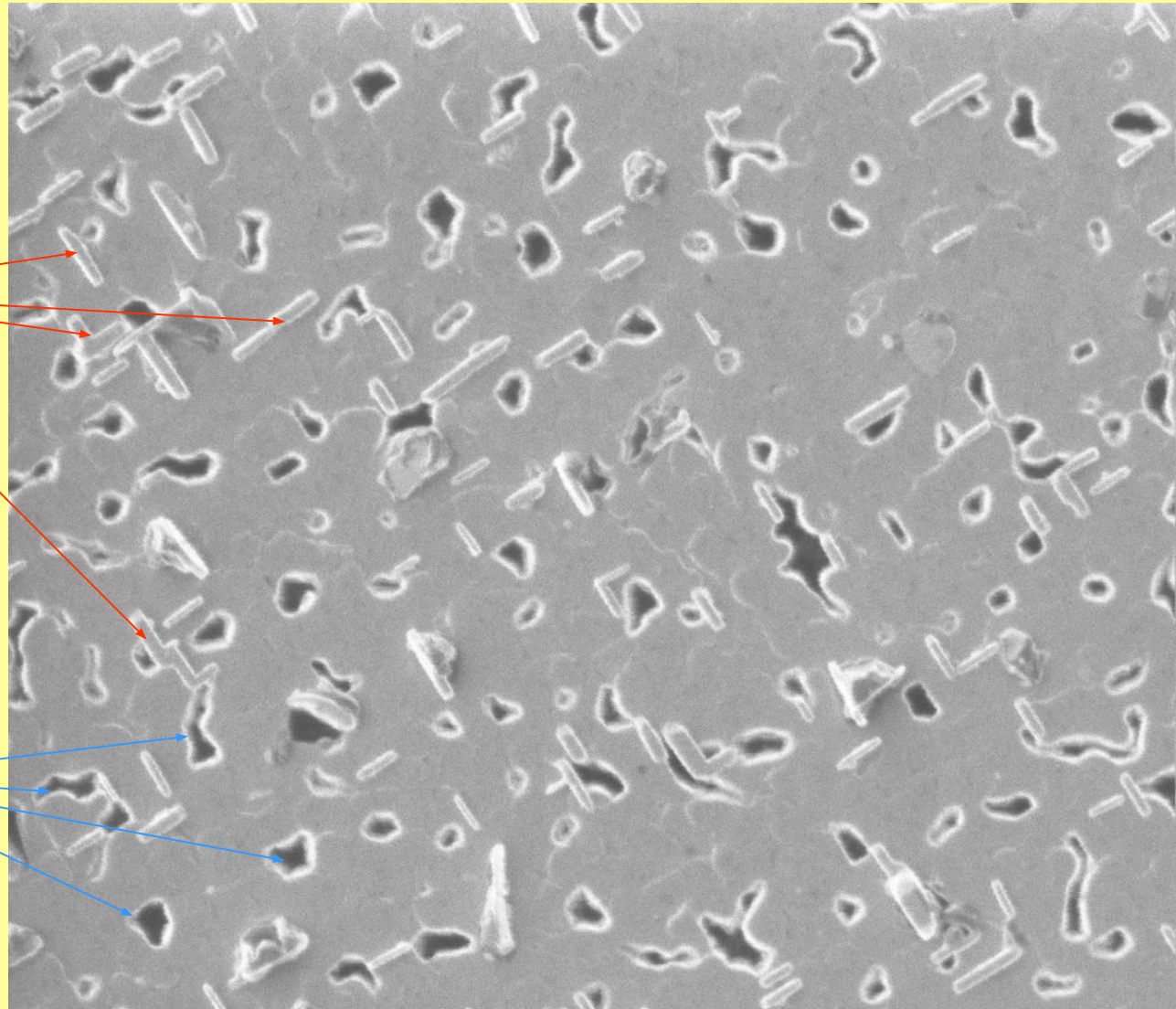
в эпитаксиальных тонких  
пленках  $> 10^6 \text{ A/cm}^2$

# Морфология поверхности пленки



Зерна  $a$ -ориентированной фазы  $\text{YBaCuO}$

Микропоры



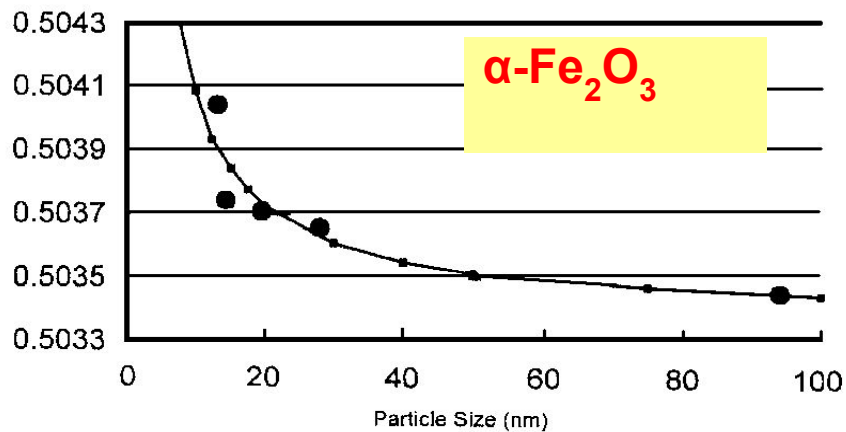
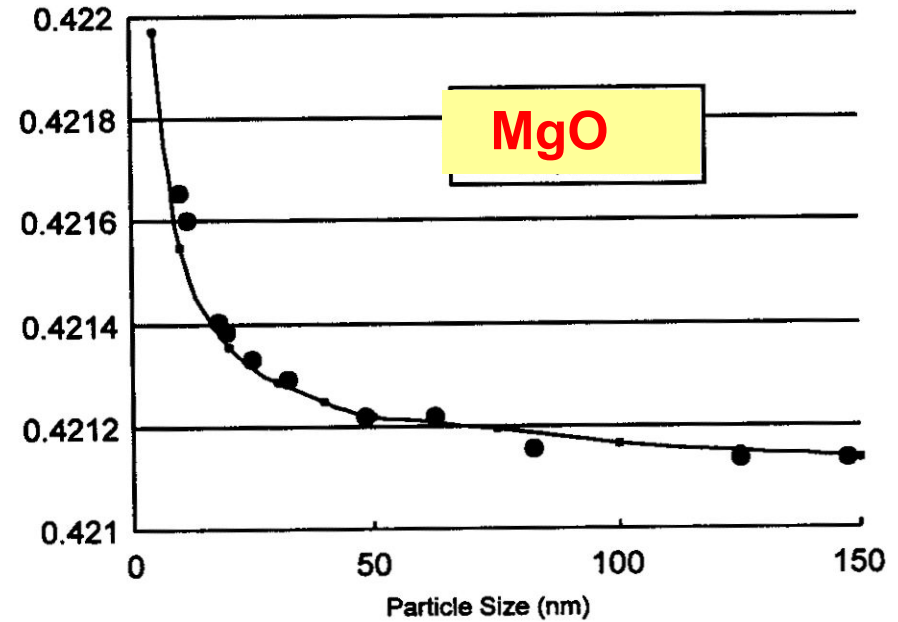
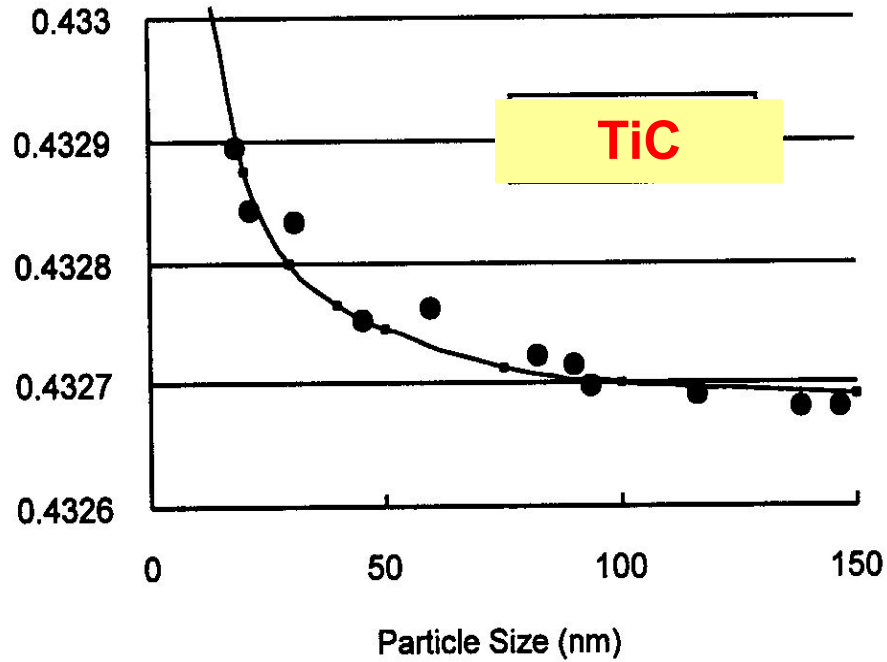
Beam	Mag	Det	FWD	Tilt	Scan	pA
30.0 kV	25.0 kX	CDM-E	17.0	0.0°	H 11.77 s	13.0

2  $\mu\text{m}$

# Свойства наноматериалов структурно-чувствительны:

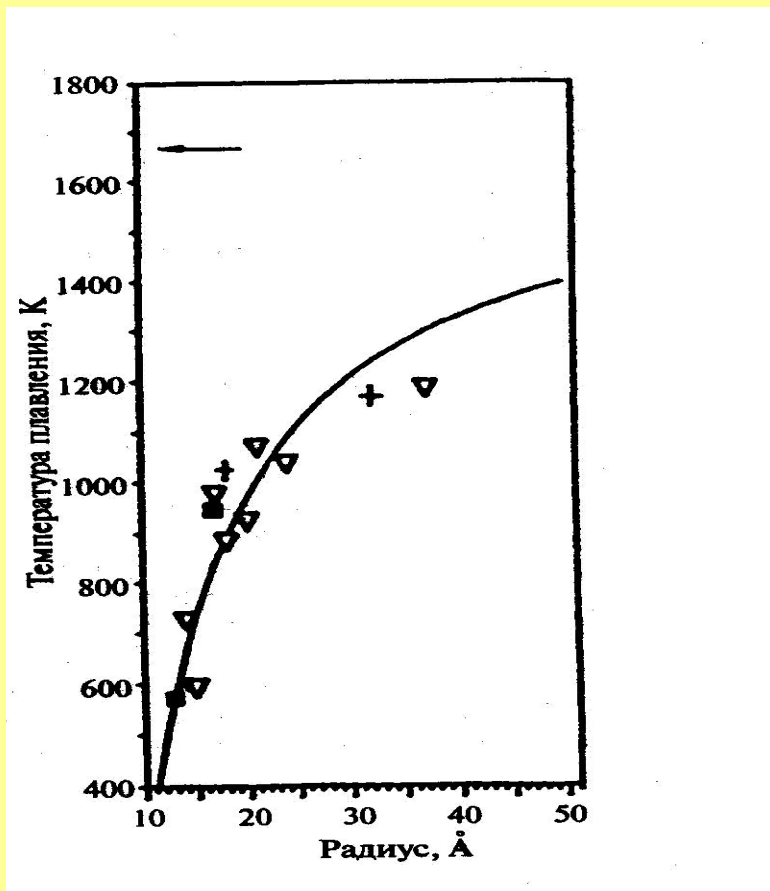
структурная чувствительность свойств наноматериалов определяется огромной концентрацией границ зерен, а также изменением фундаментальных характеристик веществ при изменении размера частиц до величины порядка нескольких параметров элементарных ячеек.

# Измерение параметра решетки при изменении размера наночастиц

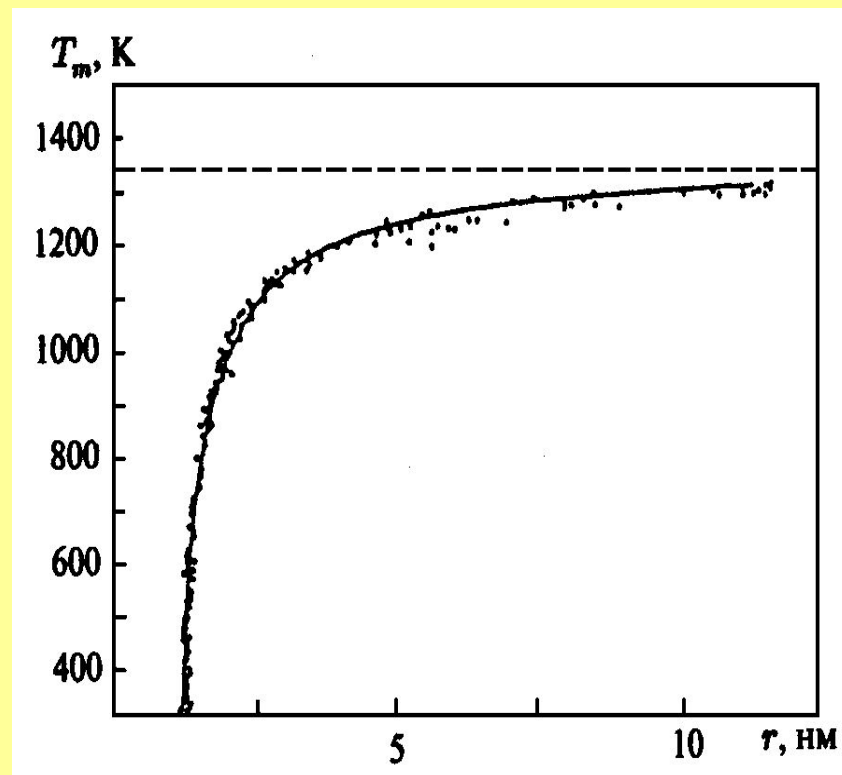


# Изменение температур плавления нановеществ в зависимости от размеров частиц

## Изменение температуры плавления CdS



## Изменение температуры плавления золота



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

# Материалы



**Равновесные**

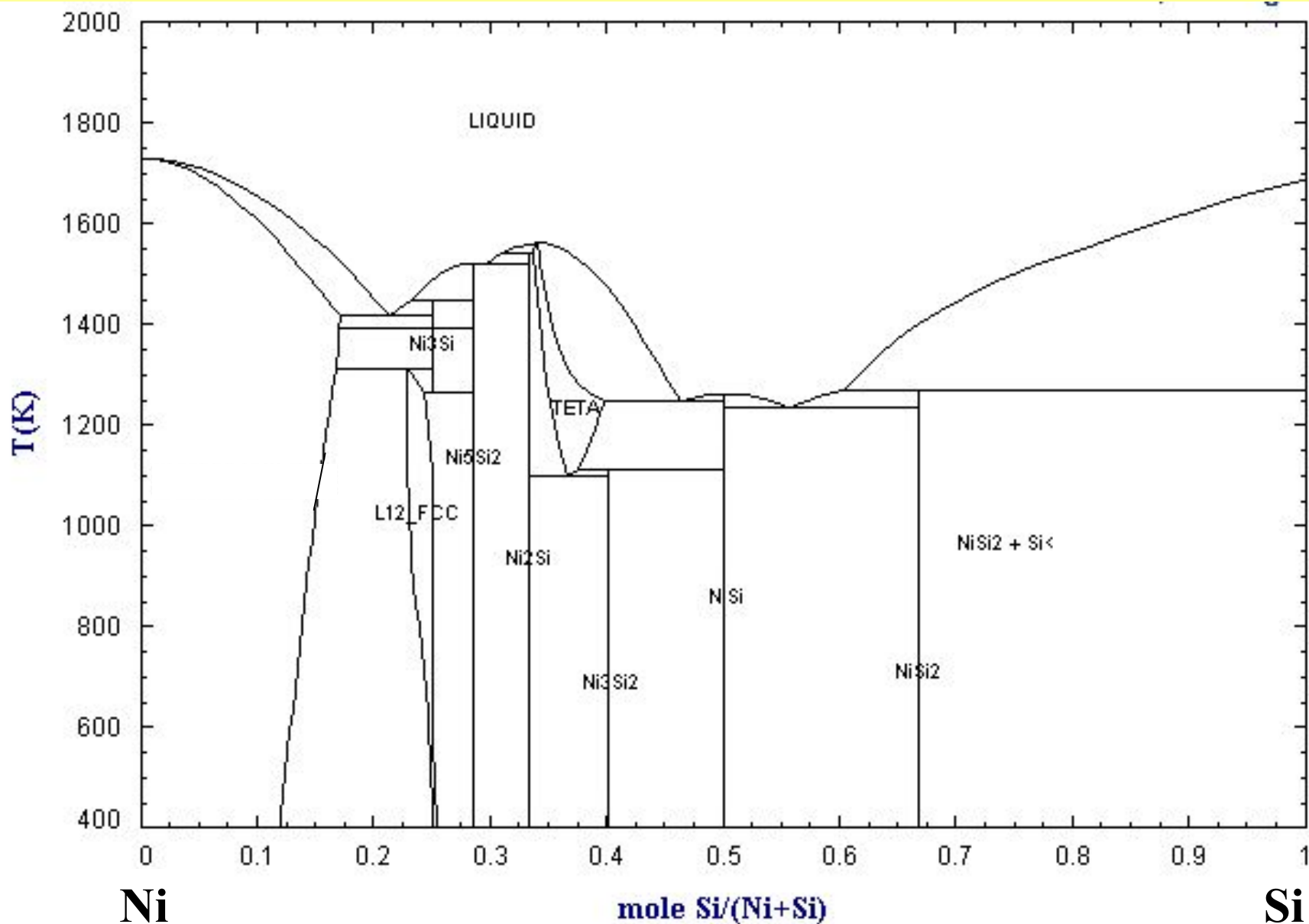
**Неравновесные**



# 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















































































































































































































































































































































































































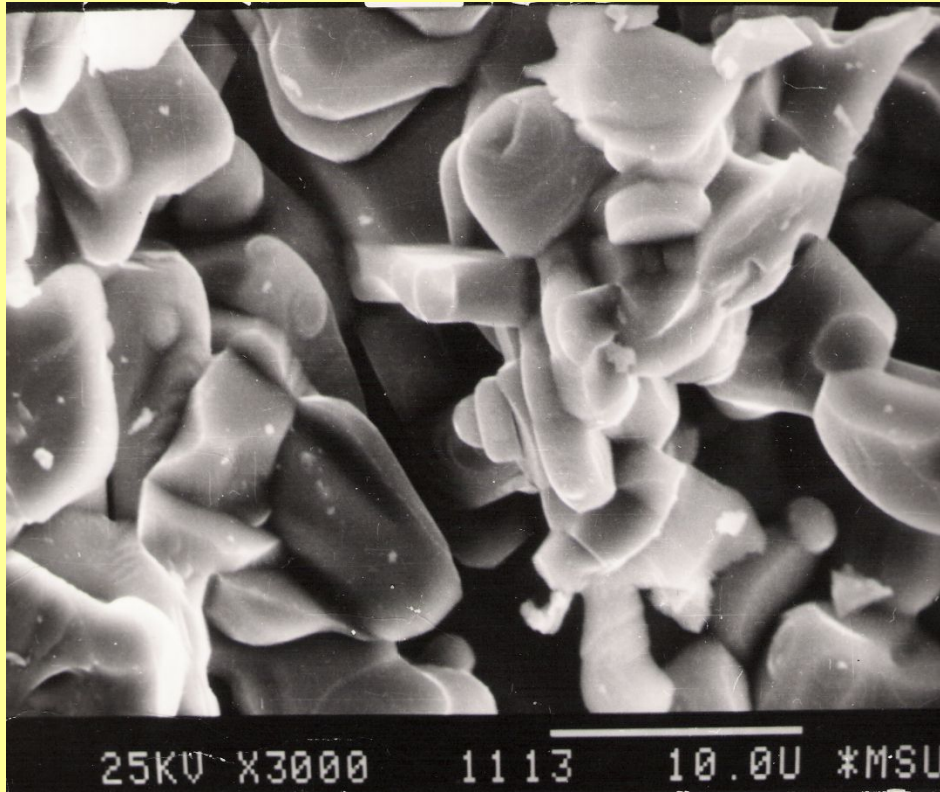




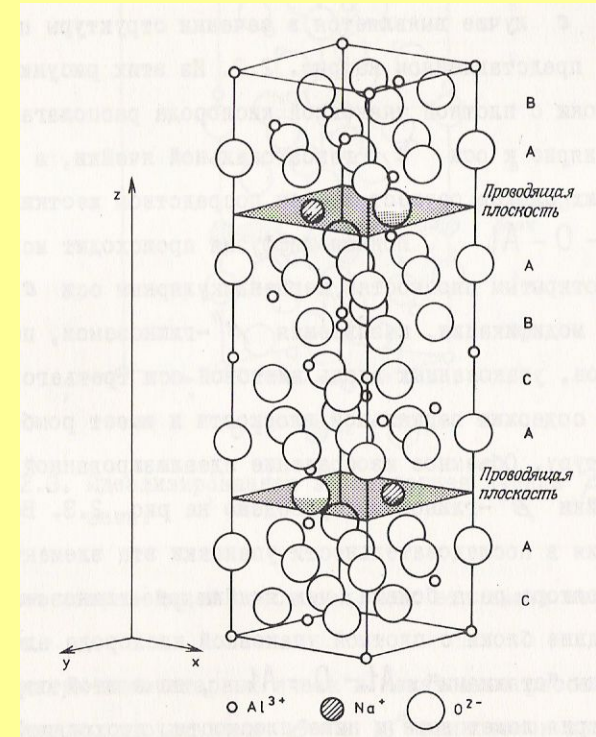




# Ионная проводимость бета-глинозема



Микроструктура керамики



Кристаллическая структура

Ионная проводимость бета- $\text{Al}_2\text{O}_3$  зависит от  
-относительной плотности, размера кристаллитов,  
-текстуры, примесей на границах кристаллитов.