

# Современные материалы и МГУ

Москва - 2017

Гудилин Е.А.

*МГУ имени М.В.Ломоносова*

ВСЕРОССИЙСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ

НАУКА 



ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

МГУ

ПУТЬ В ТРИ ЧЕТВЕРТИ ВЕКА

Предыстория (1875-1929)

Ранний период (1929-1942)

Новый период (1942-1988)

- химия и технология Mo и W
- первые образцы отечественного Be
- переработка урановых руд
- химия РЗЭ
- первый отечественный Sc
- разделение Zr и Hf
- противоопухолевые препараты на основе комплексных соединений Pt
- высшие степени окисления

Новейший период (1988-наст. вр.)

- ВТСП, КМС
- наноматериалы
- биоматериалы
- кристаллохимический дизайн
- суперионные проводники, мембраны, топливные элементы
- тонкие пленки, MO CVD
- супрамолекулярные соединения и химия кластеров
- методы химической гомогенизации, гетерофазные реакции
- полупроводники

# Материаловедческие миниреволюции



**ФНМ**  
**ЛНМ х/ф**  
**ИОНХ РАН**

- Реальная структура твердого тела – с 70х годов (В.А.Легасов, Н.Н.Олейников)
- Криохимическая технология – с 70х годов (К.Г.Хомяков, ..., О.А.Шляхтин)
- Магнетодиэлектрики (ферриты) – с 70х годов (С.Р.Ли, Е.А.Еремина, ..., ЛНМ)
- Синергетика воздействий – после 2005 года (В.К.Иванов, Б.Р.Чурагулов, ...)
- Процессы самоорганизации – после 2000 года (В.К.Иванов, ..., А.А.Елисеев)
- Образование материаловедов – после 90х годов (+ [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru), НОР)
- Аналитика материалов – всегда (ЦКП ФНМ МГУ)

## **ВТСП (купраты) – с 90х годов**

*расплавные технологии (Н.Н.Олейников, П.Е.Казин)*

*тонкие пленки (А.Р.Кауль)*

## **КМС (манганиты) – с «нулевых» годов**

*структура, свойства, фазовые диаграммы (О.А.Шляхтин)*

*тонкие пленки (А.Р.Кауль)*

## **Фотоника – с «нулевых» годов**

*опаловые структуры (С.О.Климонский)*

*инвертированные опалы (К.С.Напольский)*

## **Наноматериалы – после 2005 года**

*слоистые двойные гидроксиды (А.В.Лукашин)*

*мезопористые системы (А.А.Елисеев)*

*углеродные наноматериалы (А.А.Елисеев)*

*неорганические нанотрубки (А.В.Григорьева)*

*аэрогели, ZnO, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> (А.Н.Баранов, Б.Р.Чурагулов)*

## **Биоматериалы – после 2005 года**

*биокерамика (В.И.Путляев)*

*диоксид церия (В.К.Иванов, ...)*

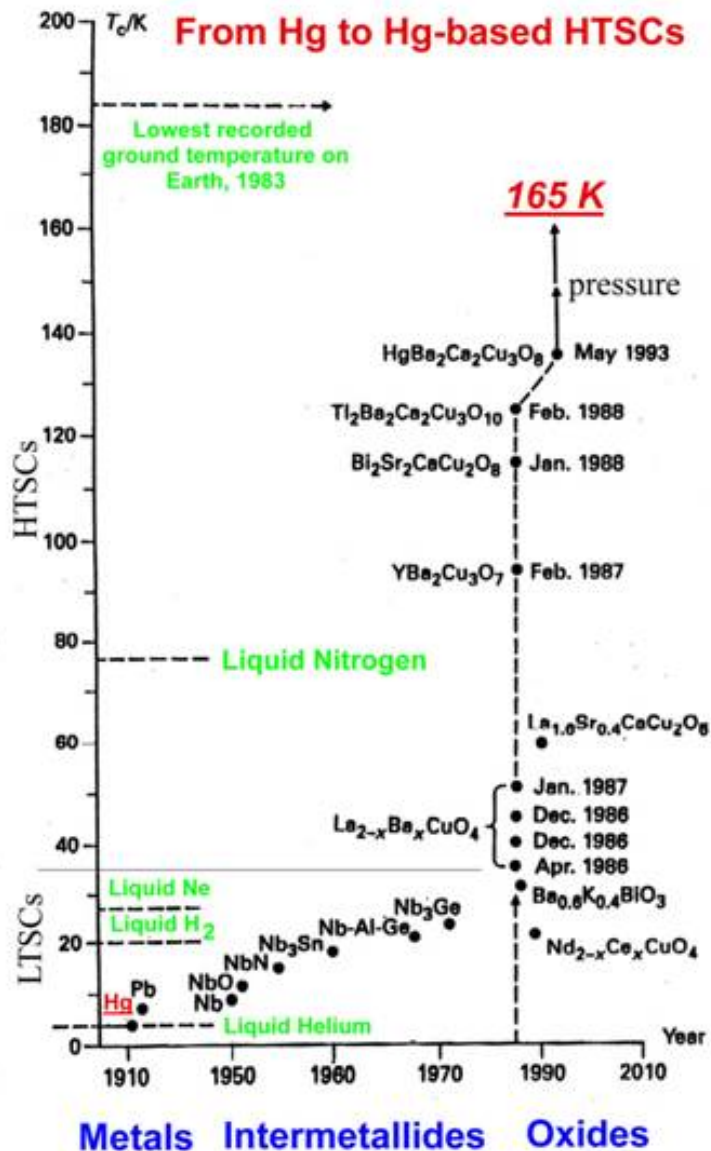
*медицинская диагностика (А.Е.Гольдт, А.А.Семенова, Н.А.Браже)*

## **Химические источники тока – после 2010 года**

*катодные материалы (О.А.Брылев, О.А.Шляхтин, Д.М.Иткус)*

*литий – воздушные аккумуляторы (Д.М.Иткус)*

# Неорганическая кристаллохимия



**Проф. Е.В.Антипов**

Е.В.Антипов, С.Н.Путилин и др.:

Hg-ВТСП

$T_c \sim 4+130$  K



J.G. Bednorz, K.A. Muller  
Nobel Prize 1987

“химическая”

ЭВОЛЮЦИЯ

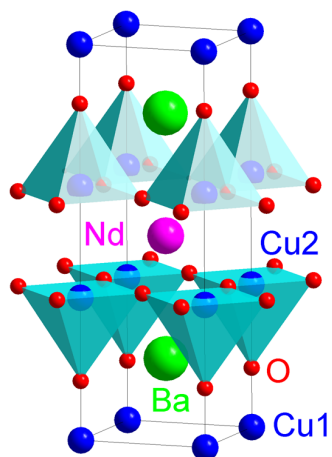


Kamerling Onnes:

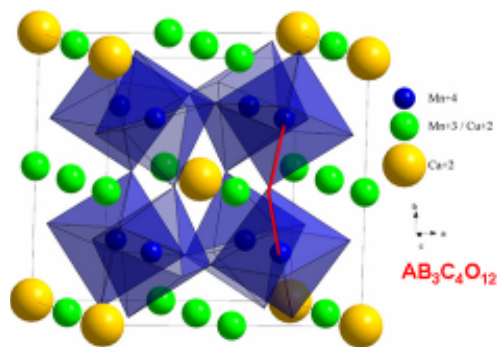
Жидкий He, “плохой металл” Hg

$T_c \sim 4$  K

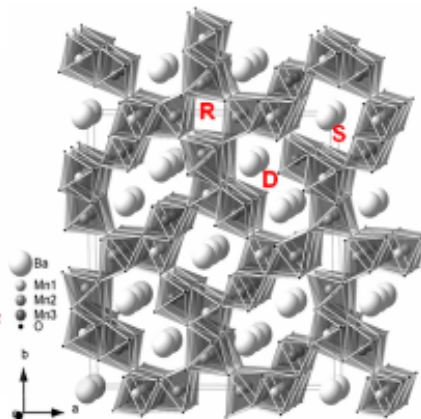
# Сложные оксиды



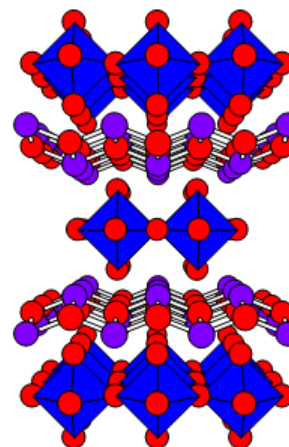
VTСП купраты



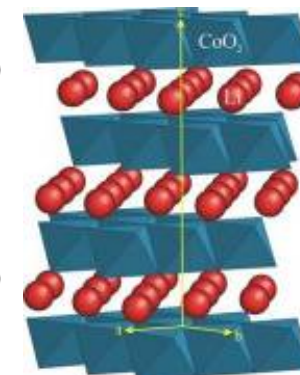
КМС-манганиты



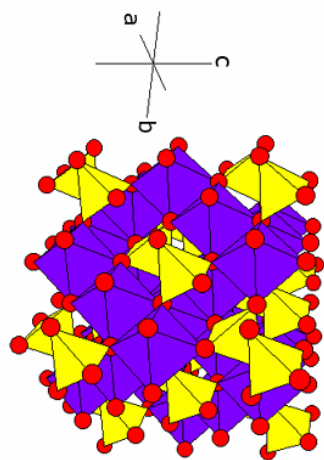
Каркасные манганиты



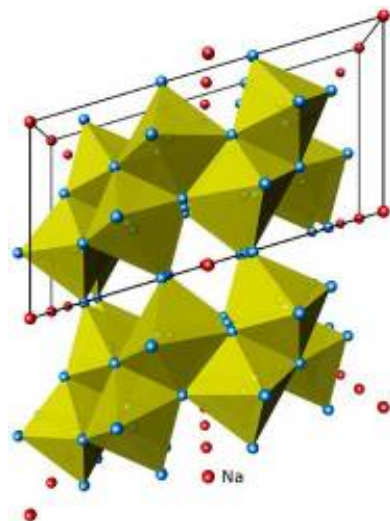
ViMeVOx



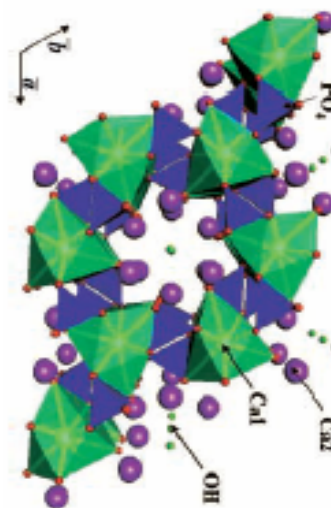
Кобальтиты



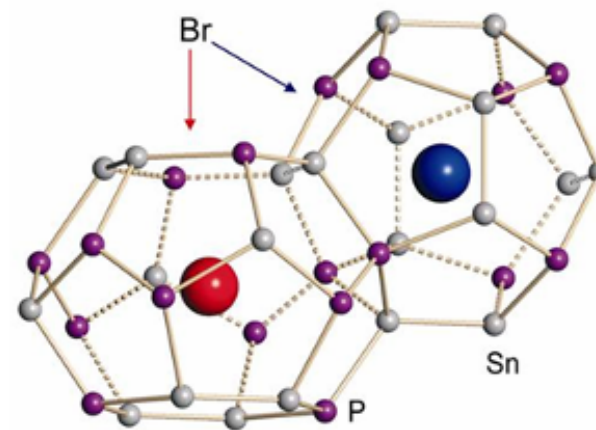
Ферраты



Титанаты, цирконаты



Фосфаты



Пниктиды (супрамолек.)

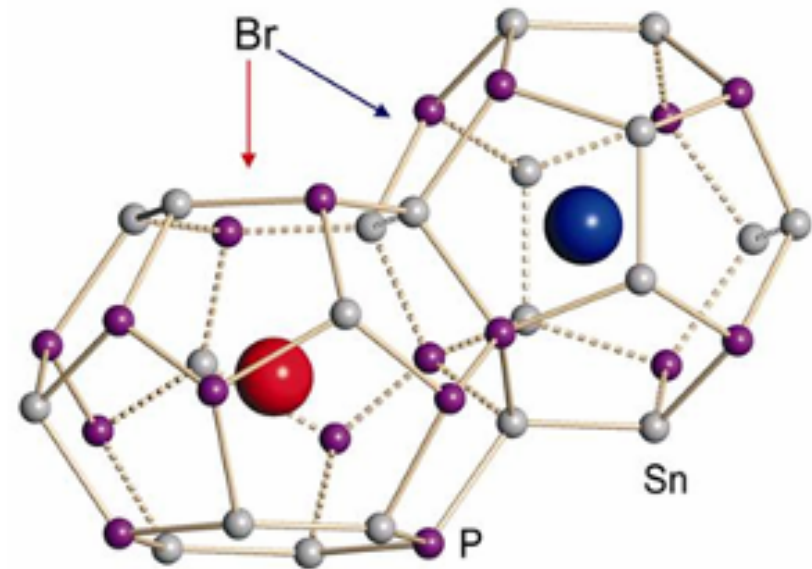
-VTСП, КМС, ферромагнетики, термоэлектрики  
 -суперионные проводники и мембраны  
 -фотокатализ, оптические материалы, биоматериалы

# Направленный неорганический синтез

Супрамолекулярная химия – раздел, описывающий сложные образования, которые являются результатом ассоциации двух и более химических частиц, связанных вместе межмолекулярными силами. Супрамолекулярная химия – химия молекулярных ансамблей и межмолекулярных связей

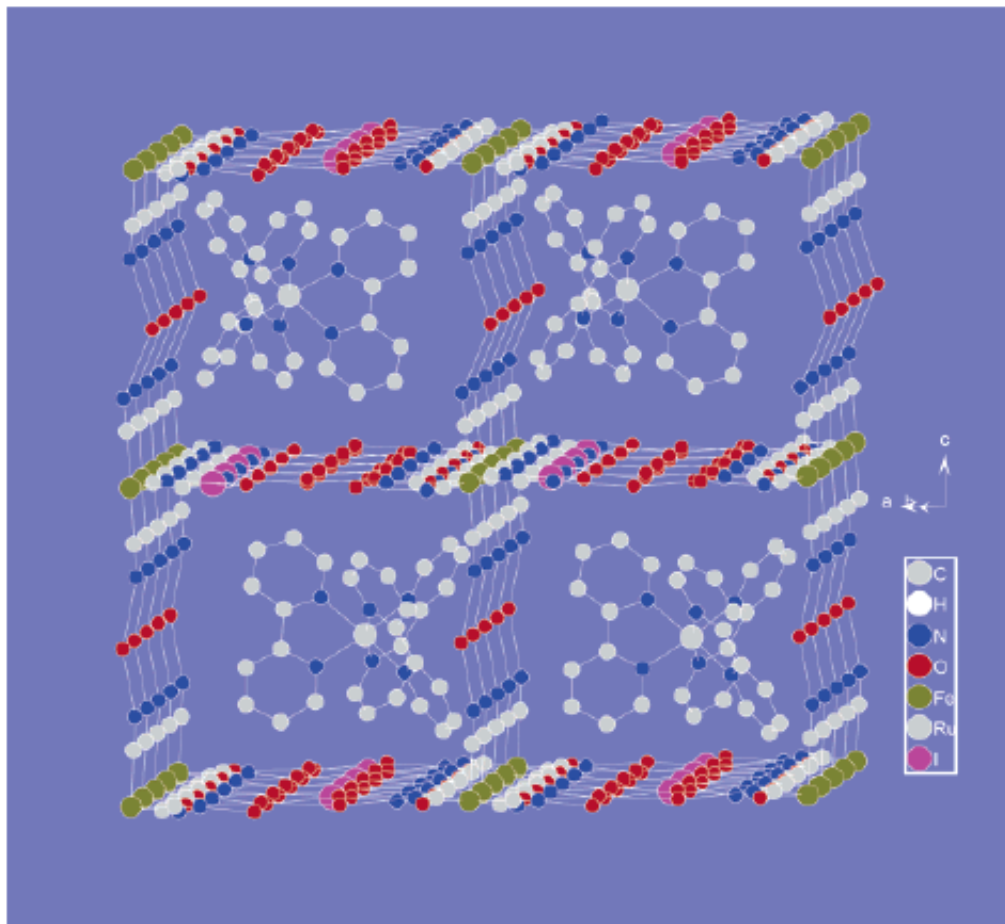
## Новые области:

информационный перенос  
распознавание  
фиксация  
самосборка  
самоорганизация  
репликация



Химия кластеров  
Супрамолекулярные соединения  
Термоэлектрические материалы

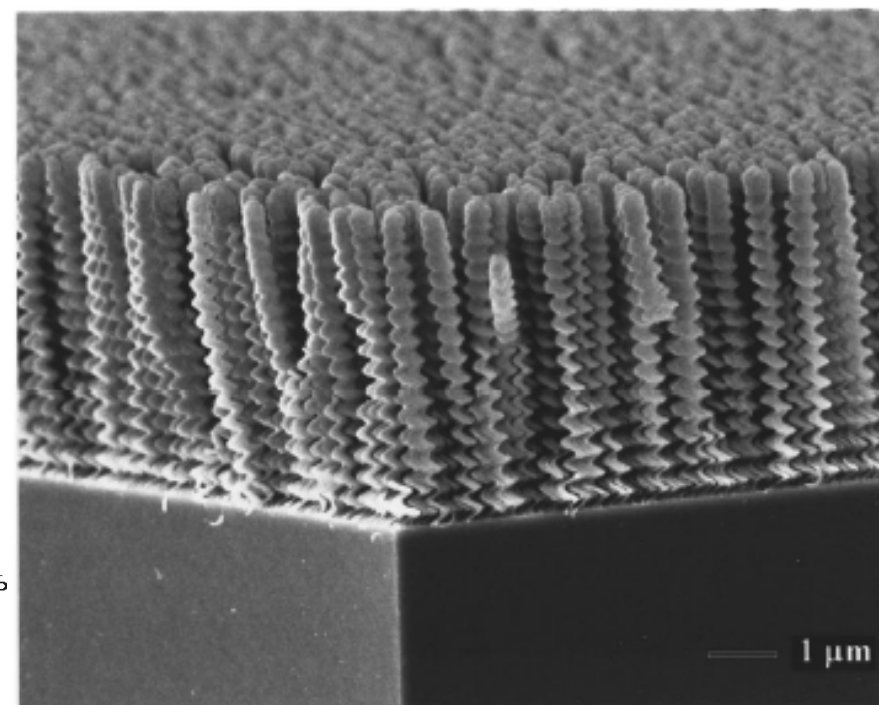
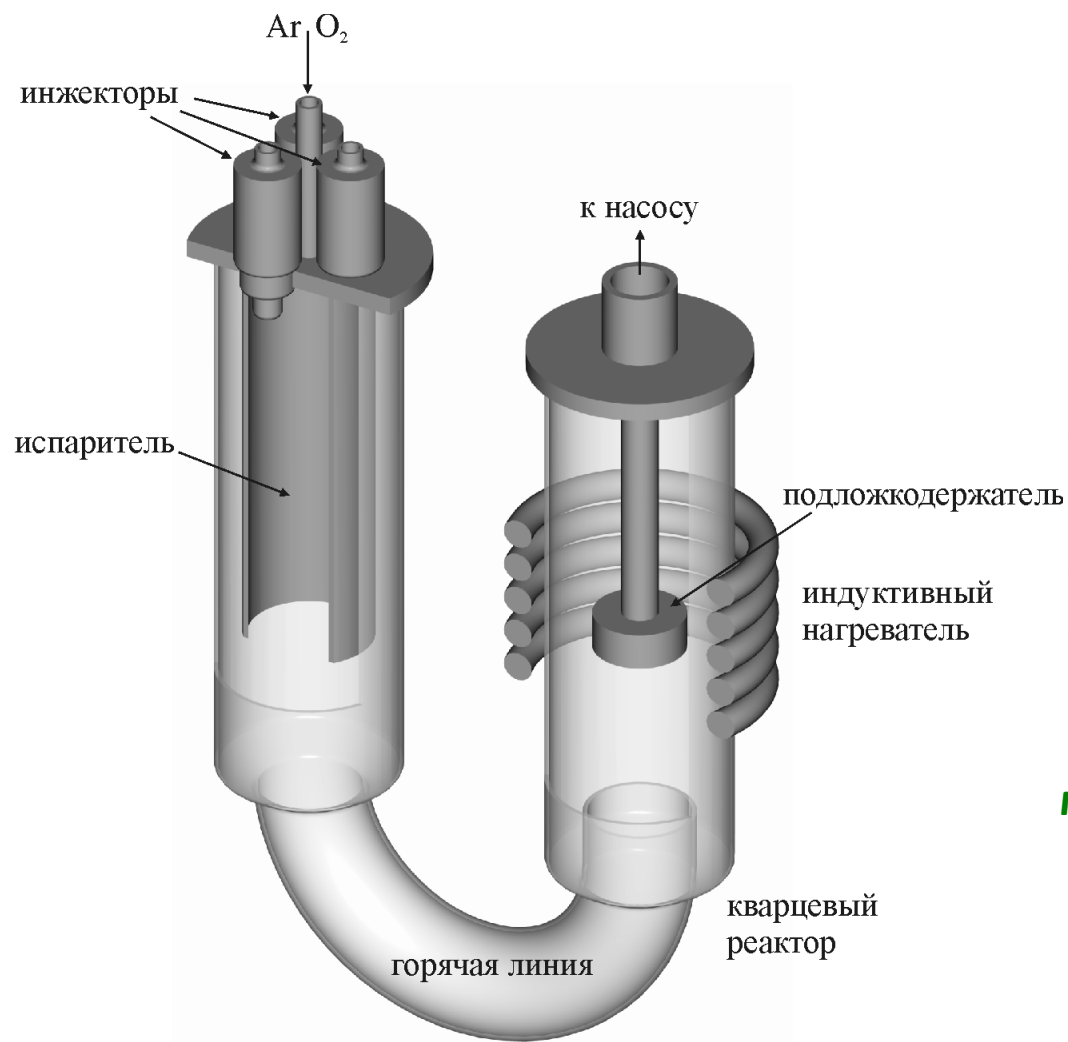
# Ансамбли большой сложности



1. Комплементарность гостя и хозяина
2. Относительная слабость взаимодействия гость-хозяин
3. Возможность взаимной подстройки гость-хозяин
4. Изменение свойств гостя и хозяина при их подстройке
5. Синергизм свойств гостя и хозяина
6. Возможность направленного синтеза ансамбля



# Химия координационных соединений



Осаждение из паровой фазы с использованием летучих металлорганических соединений

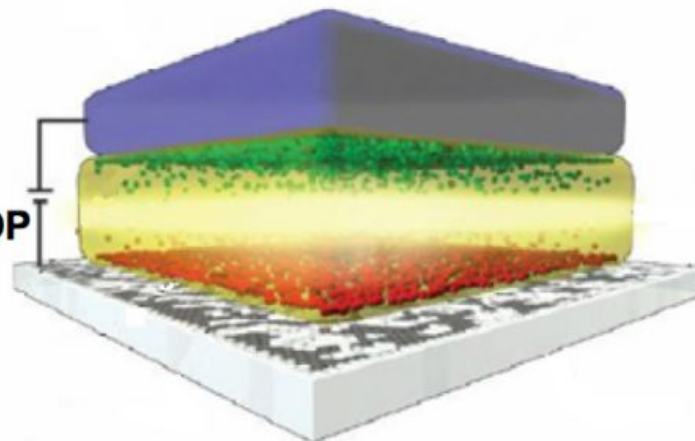


# Строение органического светодиода

=3=

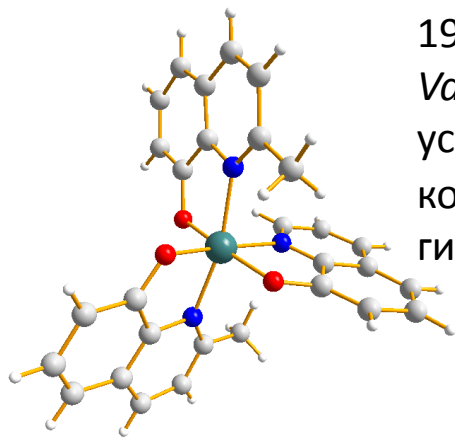


Катод  
ETL  
ЛЮМИНОФОР  
HTL  
Анод

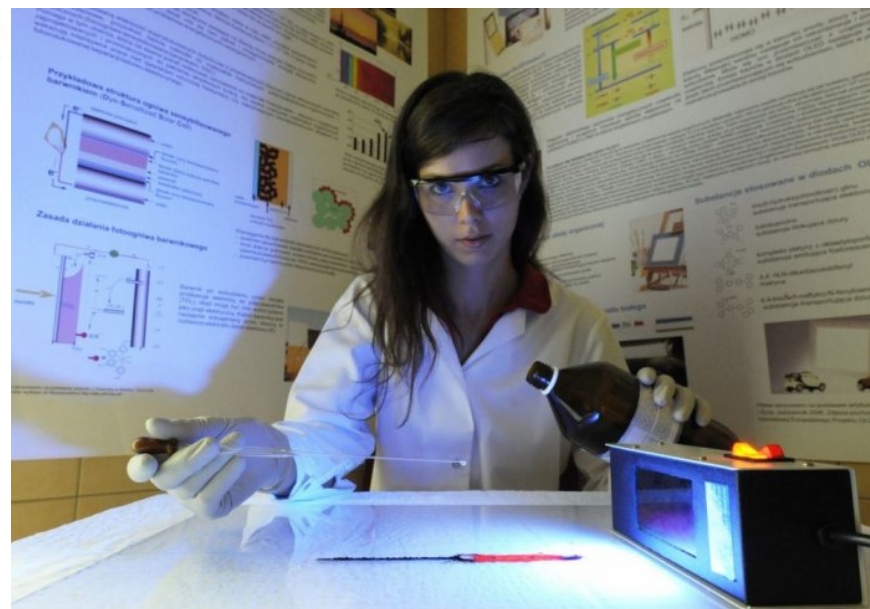


**ETL – электронпроводящий слой**

**HTL – дырководящий слой**



1987 г. (C.W. Tang и S.A. VanSlyke) - многослойное устройство на основе комплекса алюминия с 8-гидроксихинолином (AlQ3).



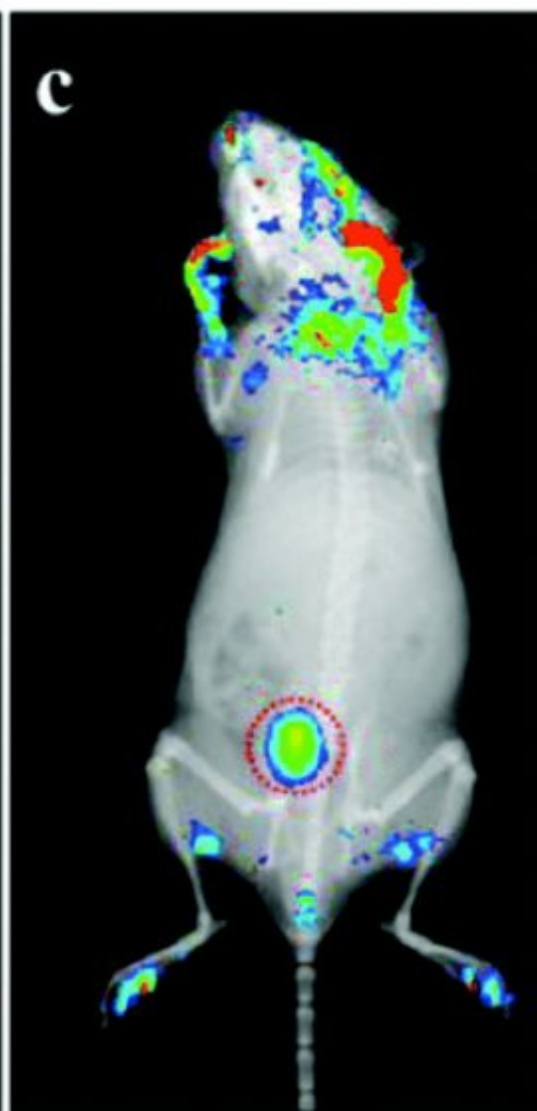
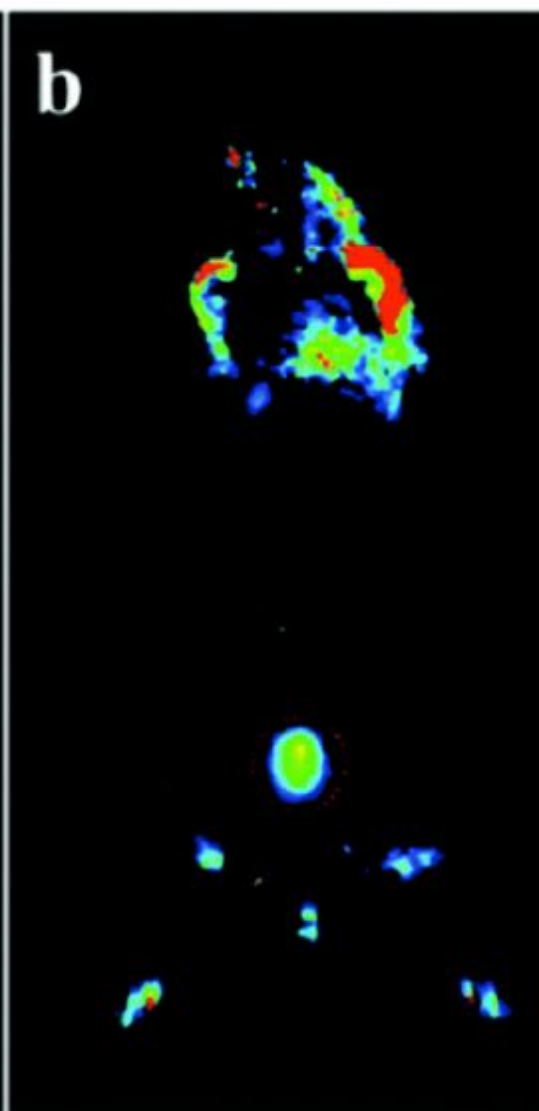
# Биовизуализация

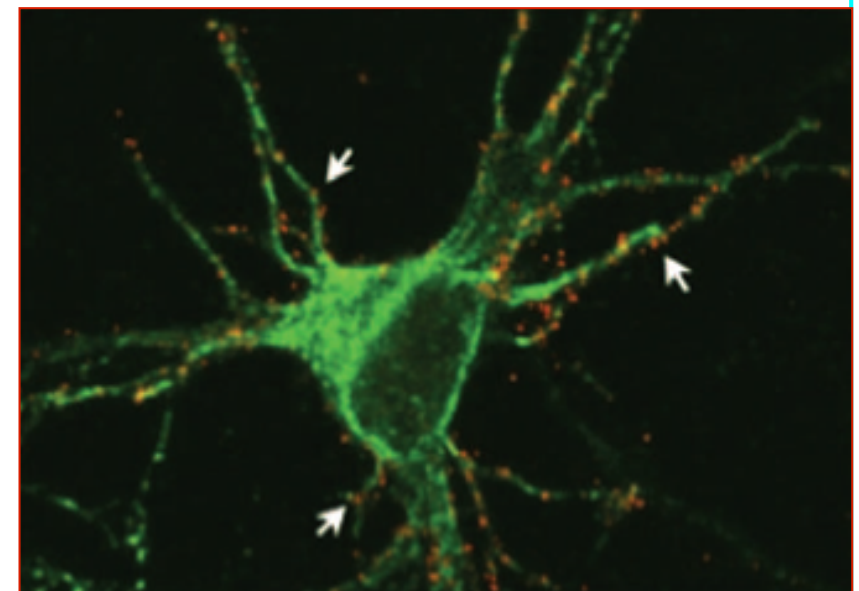
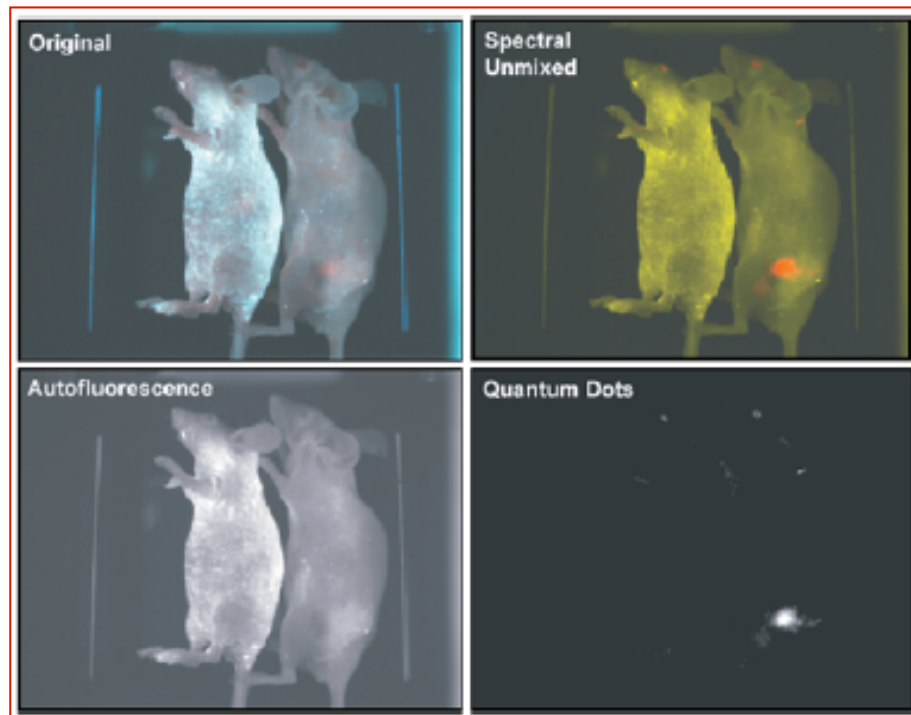
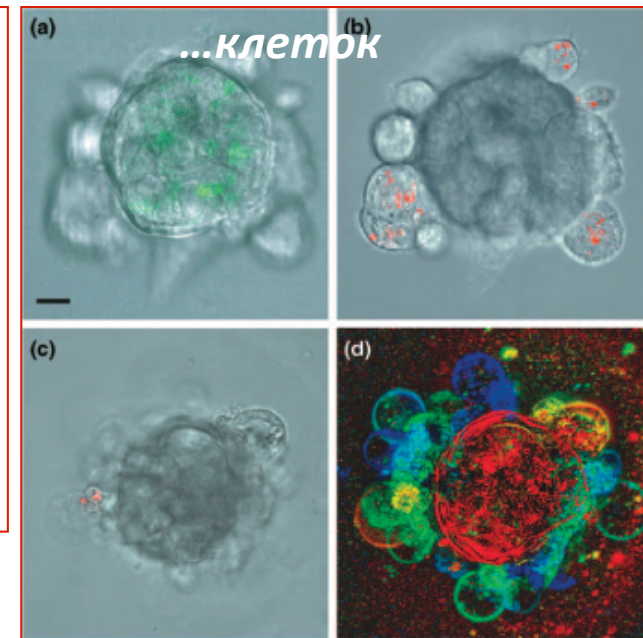
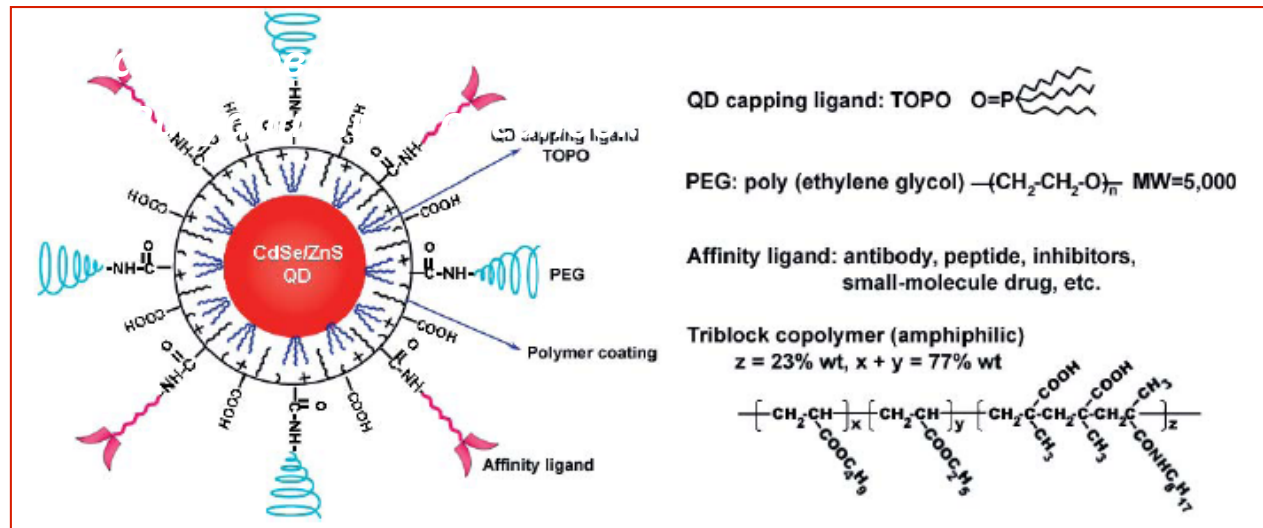


микроскоп

люм. микроскоп

наложение

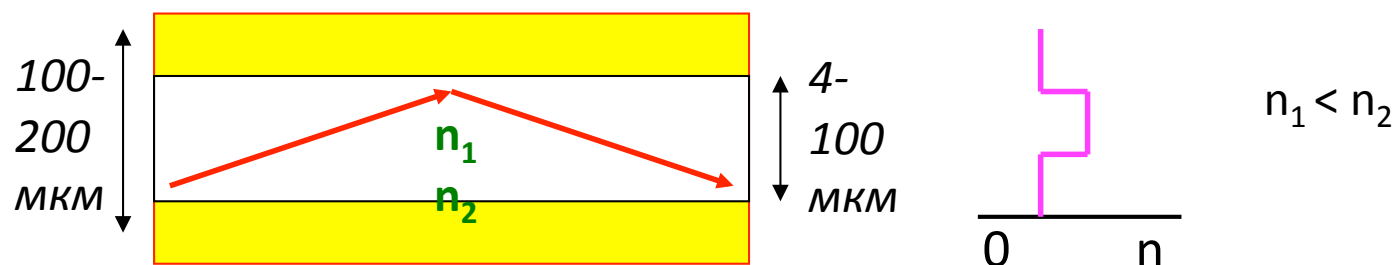




# Оптические волокна

**Состав:** сердцевина- «проводник» фотонов и оболочка – отражатель фотонов (волокна на основе  $\text{SiO}_2$ , потери до **0.2 дБ/км**, полоса пропускания до **100 ГГц/км**).

**Применение:** передача информации на большие расстояния (телефон, ТВ, Интернет), оптоэлектроника, передача световой энергии (лазерная техника, световоды).



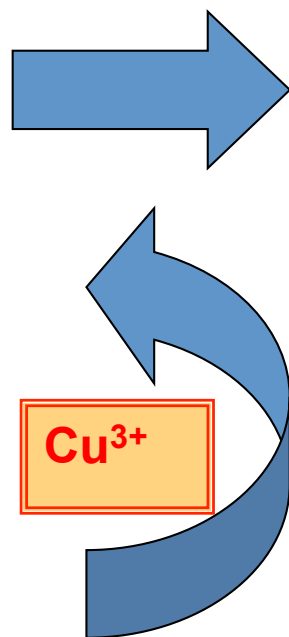
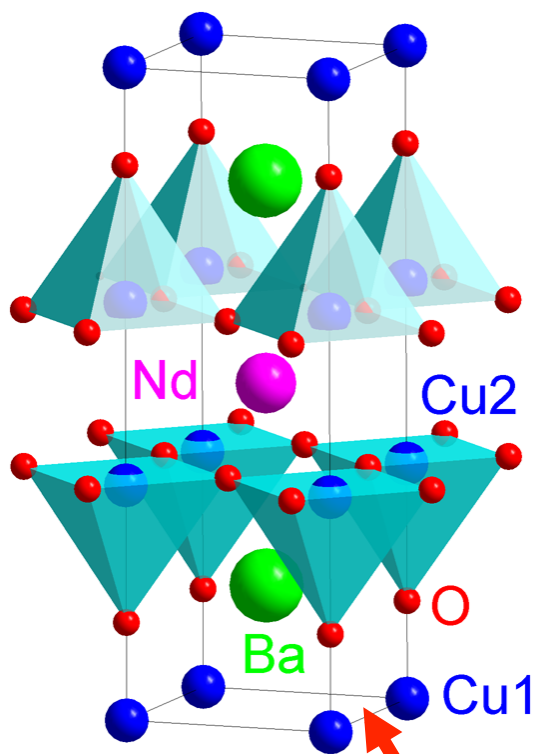
**Получение:** химическое осаждение из газовой фазы внутри стеклянных трубок (капилляров),  $\text{SiCl}_4 + \text{CF}_4 + \text{O}_2 = \text{SiO}_2 + \dots$  (1500-1700 $^\circ\text{C}$ , 1 слой),  $\text{SiCl}_4 + \text{GeCl}_4$  (1500-1700 $^\circ\text{C}$ , 2 слой), схлопывание ( $\sim 2000^\circ\text{C}$ ), протяжка, прокатка (получение волокна), формирование из оптоволокна оптических кабелей.

# Диагностика неорганических материалов



Сенсорика

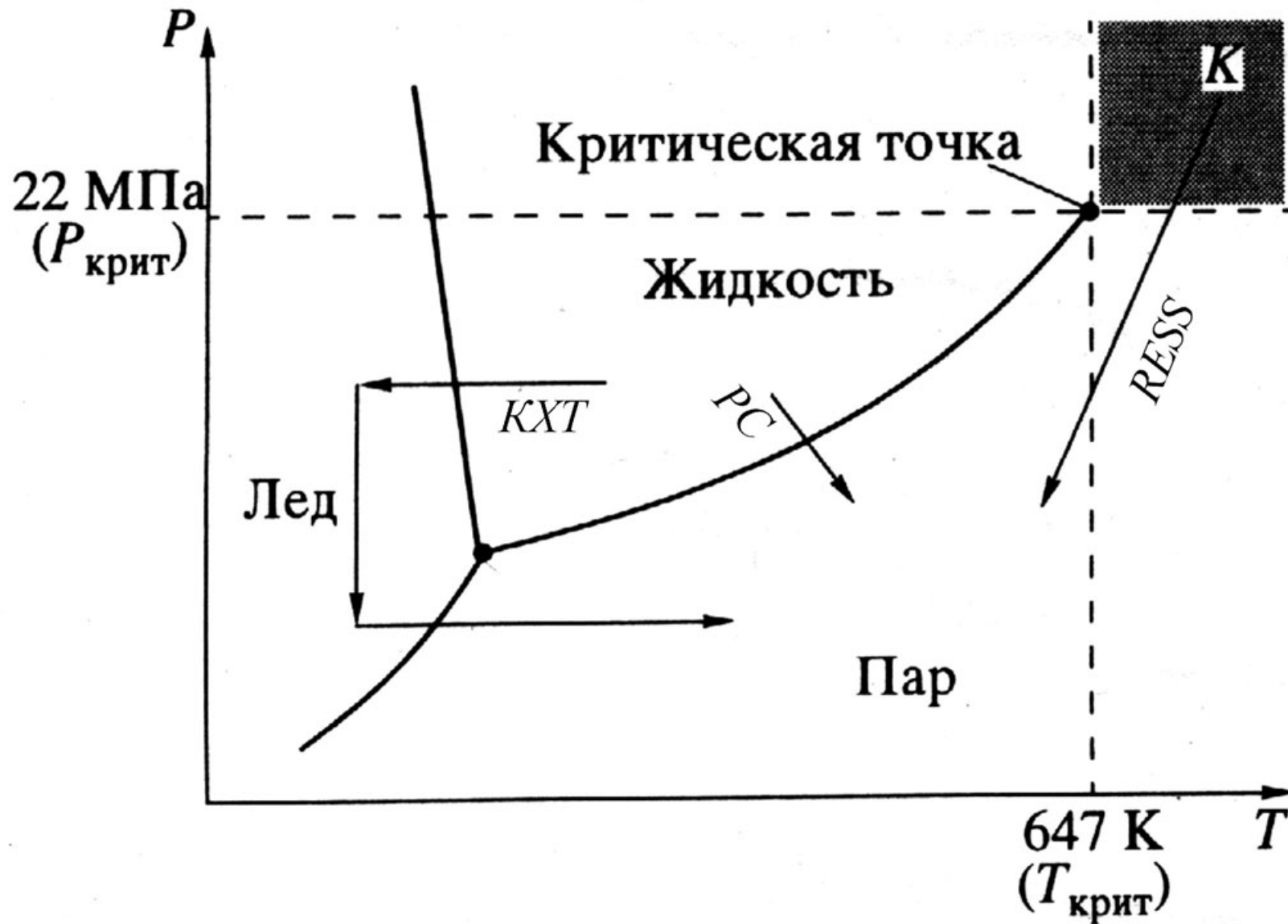
# Неорганическое материаловедение



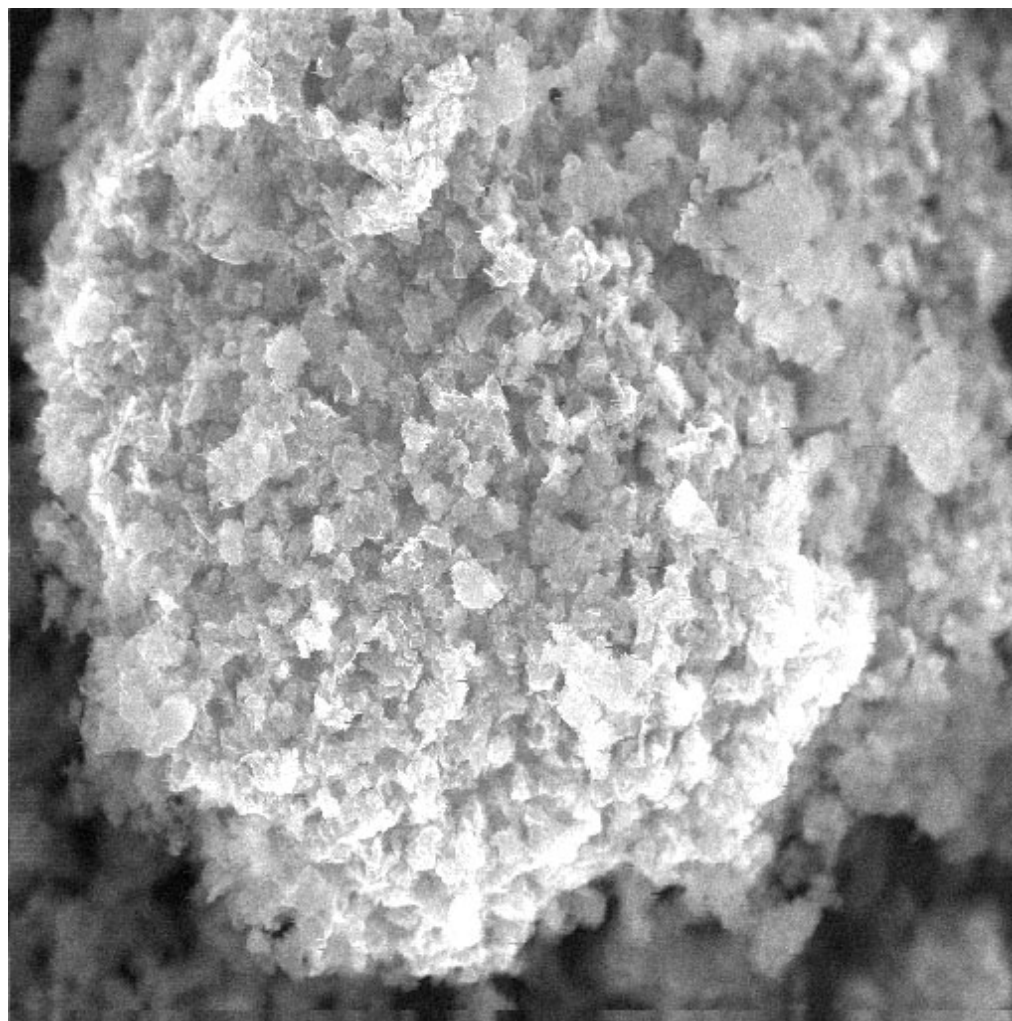
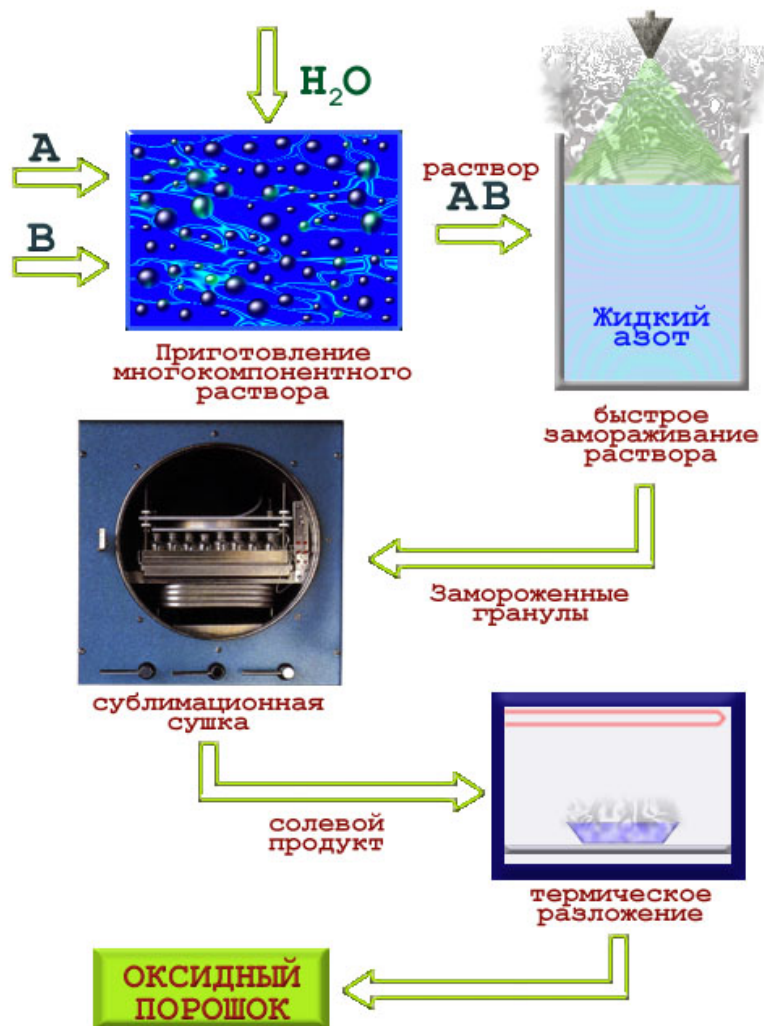
$\text{O}_2$

Магнитная левитация (ISTEC)

# Методы химической гомогенизации

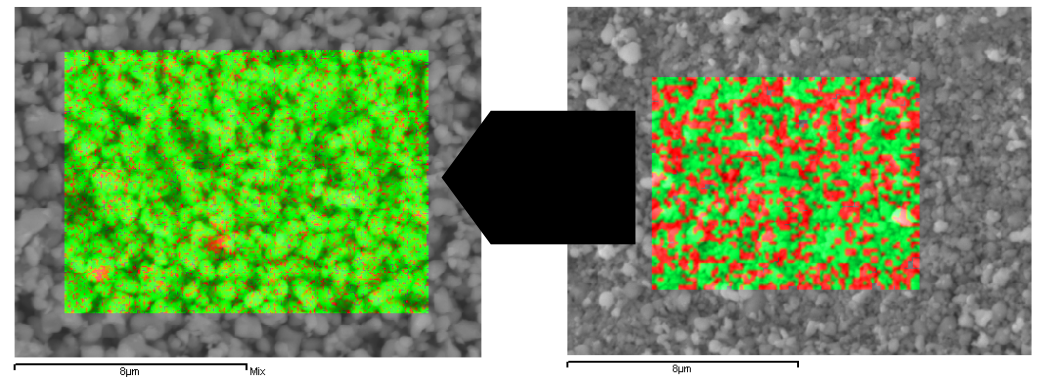
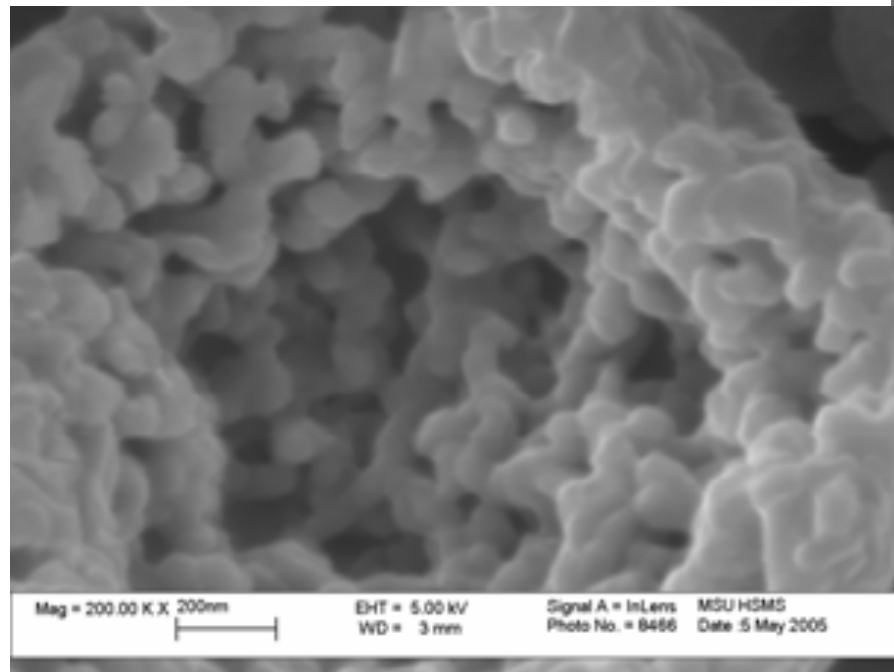
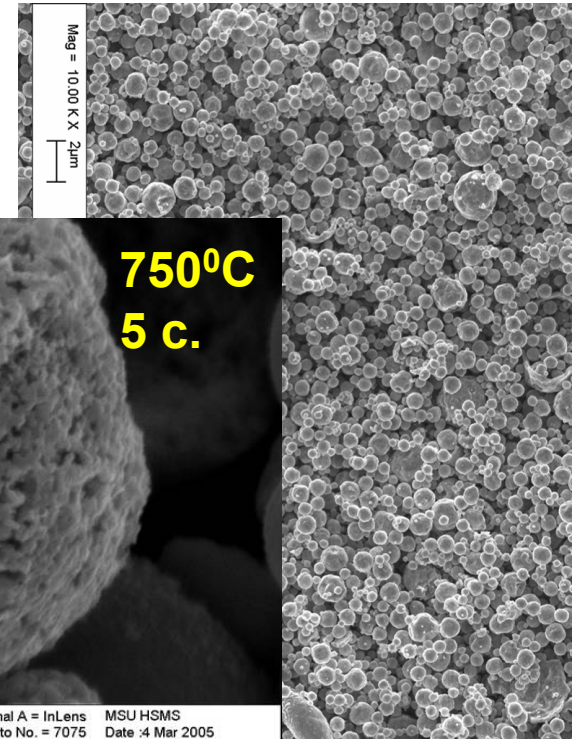
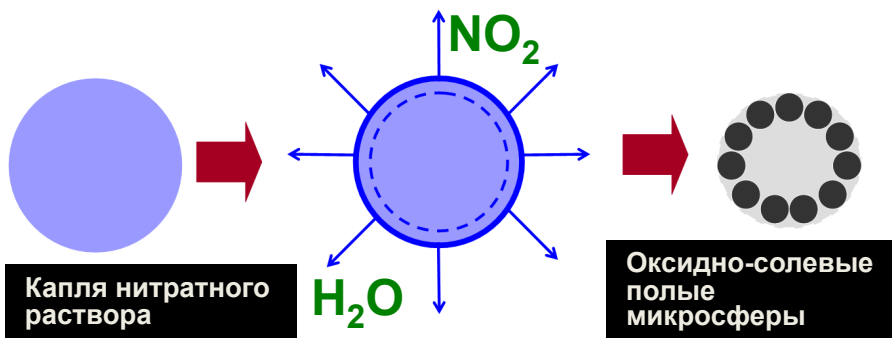


# СХЕМА КРИОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ



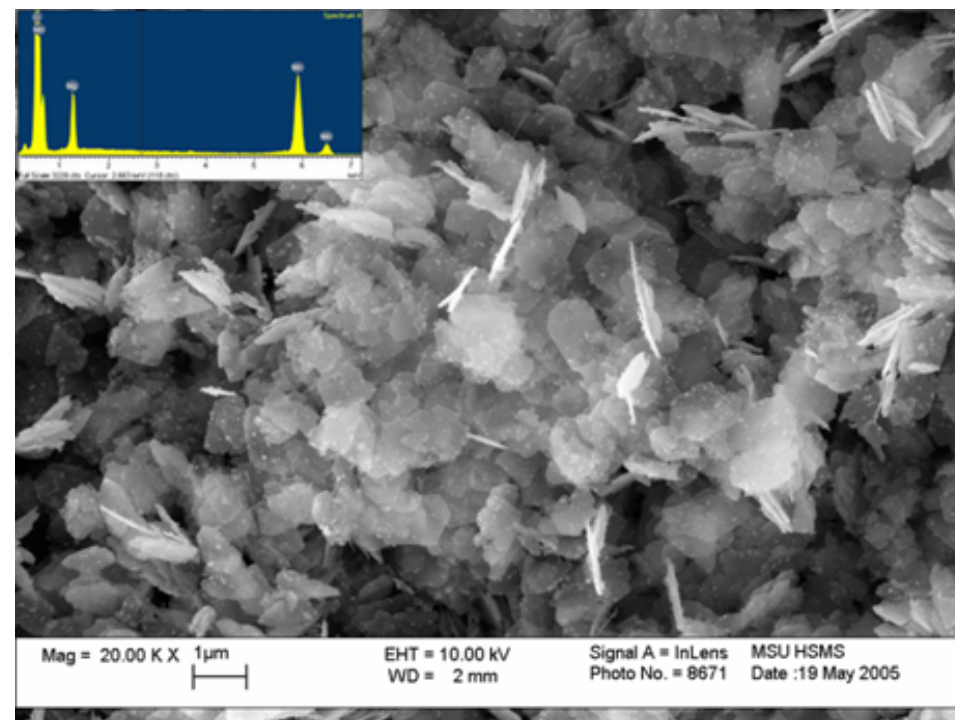
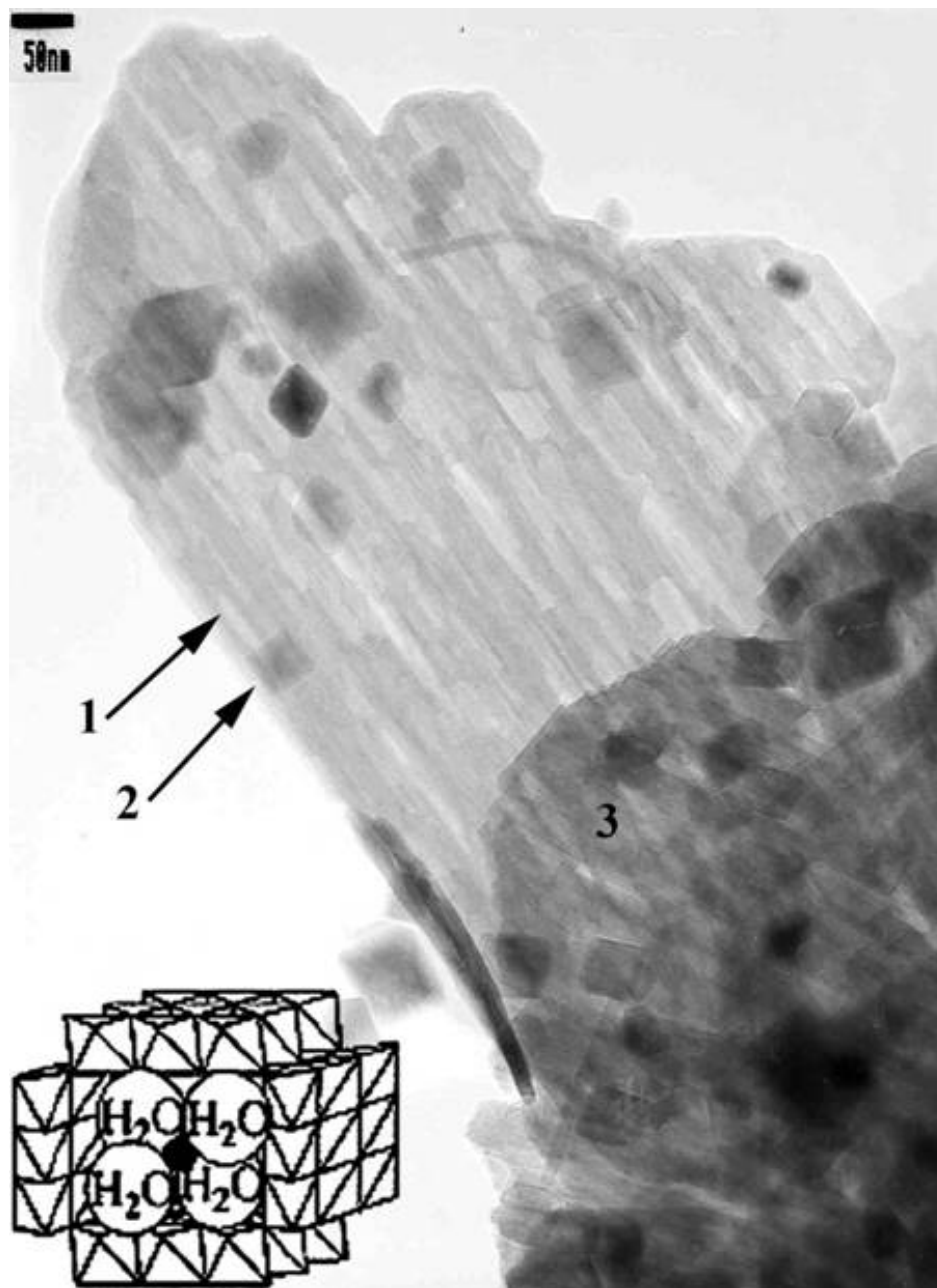


# Пиролиз аэрозолей



-быстрый синтез  
-отсутствие загрязнений

# Гидротермальный синтез



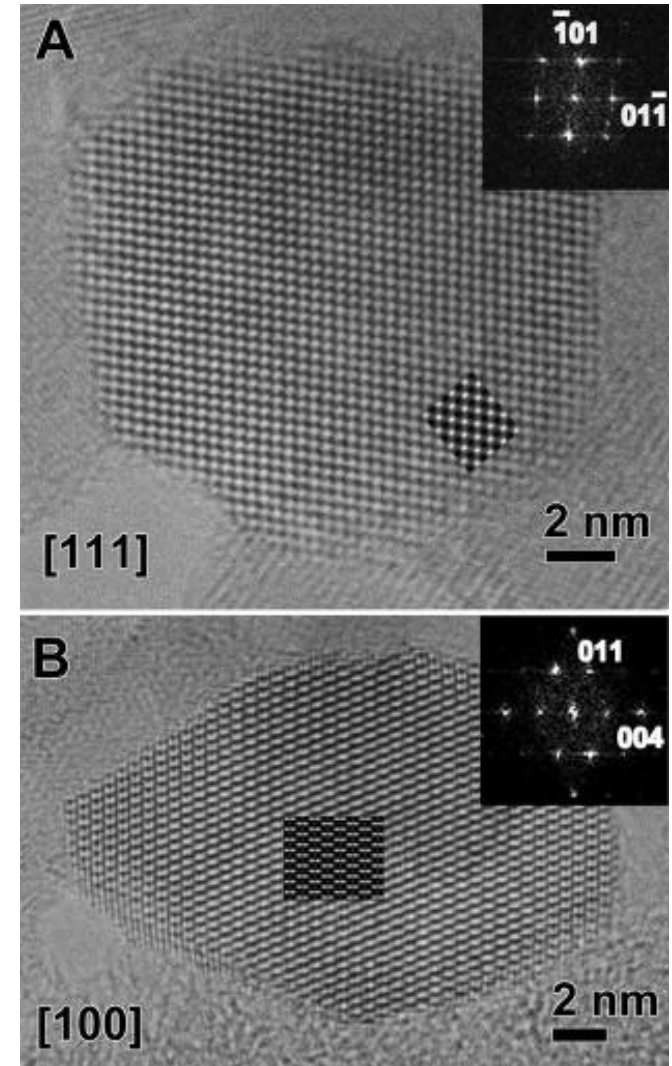
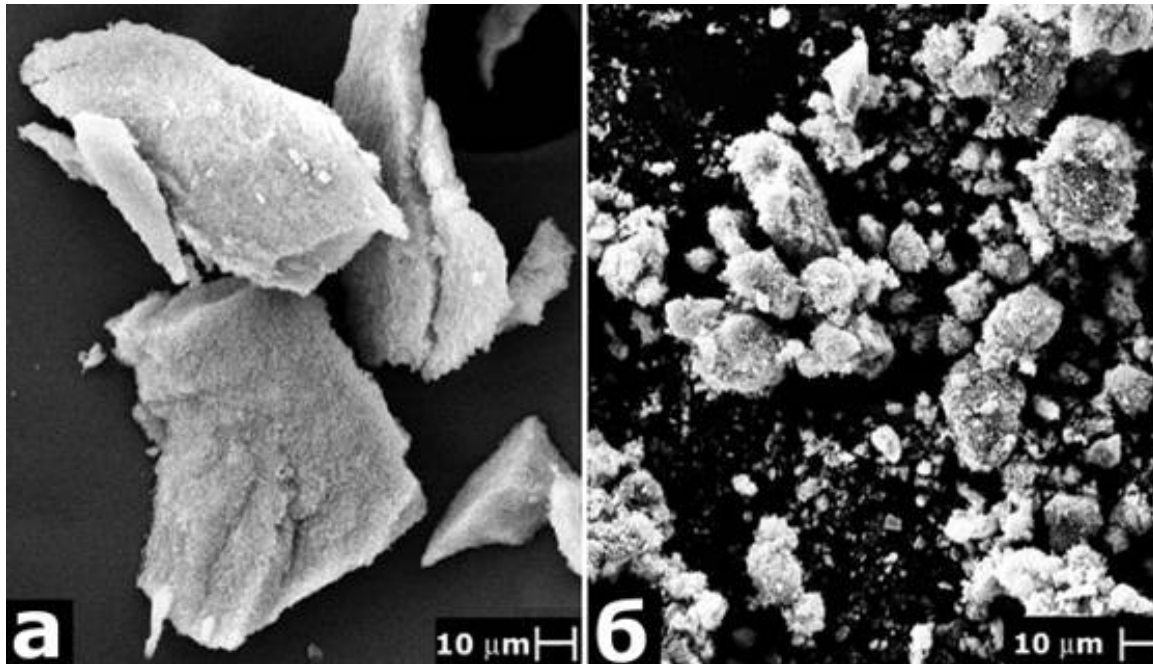
Тодорокит  $Mg_xMnO_2 \cdot yH_2O$

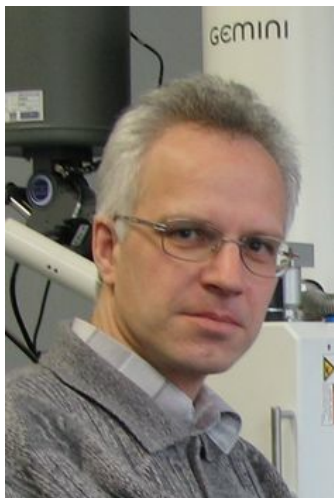


Аэрогели  
плотность  $\sim 0.03 - 0.3 \text{ г/см}^3$ ,  
до 99% пор

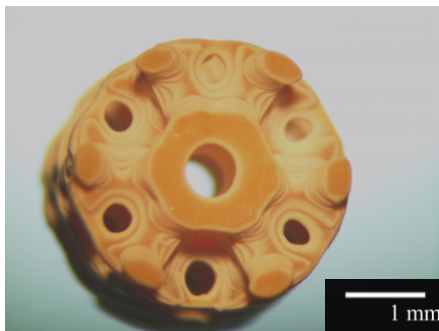
Сверхкритическая сушка

Изоляция  
Матрица  
Фильтры



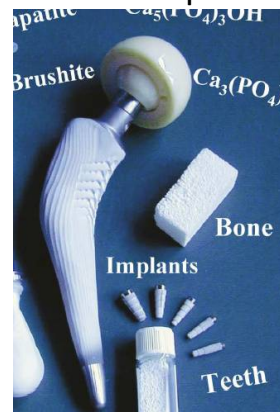
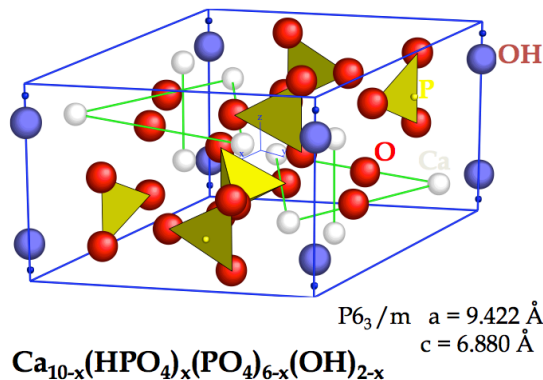


Доц., к.х.н.  
В.И.Путляев и др.



# Биоматериалы

- **Биоматериалы:** неорганическая химия оксидов и фосфатов ( $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $CaHPO_4 \cdot (2H_2O)$ ,  $Ca_8(HPO_4)_2(PO_4)_4 \cdot 5H_2O$ ,  $Ca_2P_2O_7$ , полифосфаты кальция),
- материаловедение керамики, цемента, стекла, композитов для биомедицинских применений,
- разработка новых методов синтеза и модифицирования неорганических порошковых материалов, высокотехнологичного дизайна и механики компактных неорганических композиционных материалов биомедицинского применения,
- оценка медико-биологических свойств аллопластических биоматериалов,
- формирование остеокондуктивной биокерамики на основе смешанных ортофосфатов типа  $Ca_{3-x}M_{2x}(PO_4)_2$  ( $M=Na, K$ ) с ренанитоподобной структурой методами 3D-печати
- Модификация **армирующих наполнителей в композитах строительного назначения:** формирование контактной зоны неорганических композиционных конструкционных материалов с использованием направленной модификации приповерхностного слоя армирующей фазы (базальтовые, кварцевые, асбестовые, волластонитовые и др. волокна),
- Исследование материалов методами **электронной микроскопии:** исследование как материалов, полученных в рамках собственных проектов группы, так и материалов ЛНМ, кафедр МГУ, ФНМ, сторонних подразделений и организаций, методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии (Libra 200 (Carl Zeiss) и JEM-2000FXII (JEOL), растрового электронного микроскопа LEO Supra 50VP.

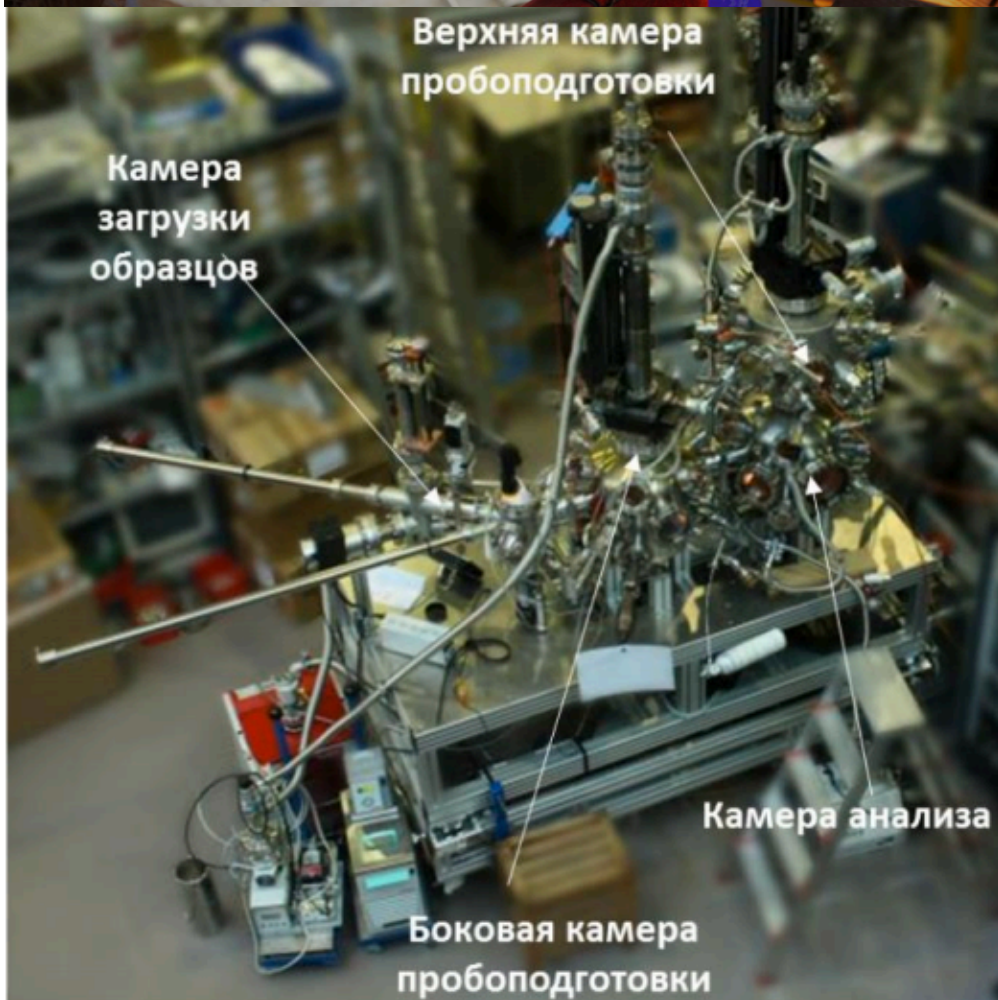


# Лаборатория Электрохимических Материалов



**ELECTROCHEMICAL ENERGY CONVERSION  
MATERIALS LAB**

Lomonosov Moscow State University



Верхняя камера  
пробоподготовки

Камера  
загрузки  
образцов

Камера анализа

Боковая камера  
пробоподготовки

## Staff & PostDocs



**Dr. Daniil Itkis**

senior research scientist  
d.itkis@fmlab.ru



**Dr. Elmar Kataev**

junior research scientist  
e.kataev@fmlab.ru



**Dr. Lada Yashina**

leading research scientist  
yashina@inorg.chem.msu.ru



**Dr. Olesya Kapitanova**

junior research scientist  
o.kapitanova@fmlab.ru



**Dr. Victor Krivchenko**

senior research scientist  
victi81@mail.ru

## PhD students



**Alina Belova**

a.belova@fmlab.ru  
**Research:** Advanced in situ tools for electrochemical interfaces, Oxygen redox in aprotic media



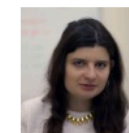
**Anna Kozmenkova**

a.kozmenkova@fmlab.ru  
**Research:** Lithium-ion battery materials, Oxygen redox in aprotic media



**Artem Sergeev**

a.sergeev@fmlab.ru  
**Research:** Oxygen redox in aprotic media



**Tatiana Zakharchenko**

t.zakharchenko@fmlab.ru  
**Research:** Oxygen redox in aprotic media



**Victor Vizgalov**

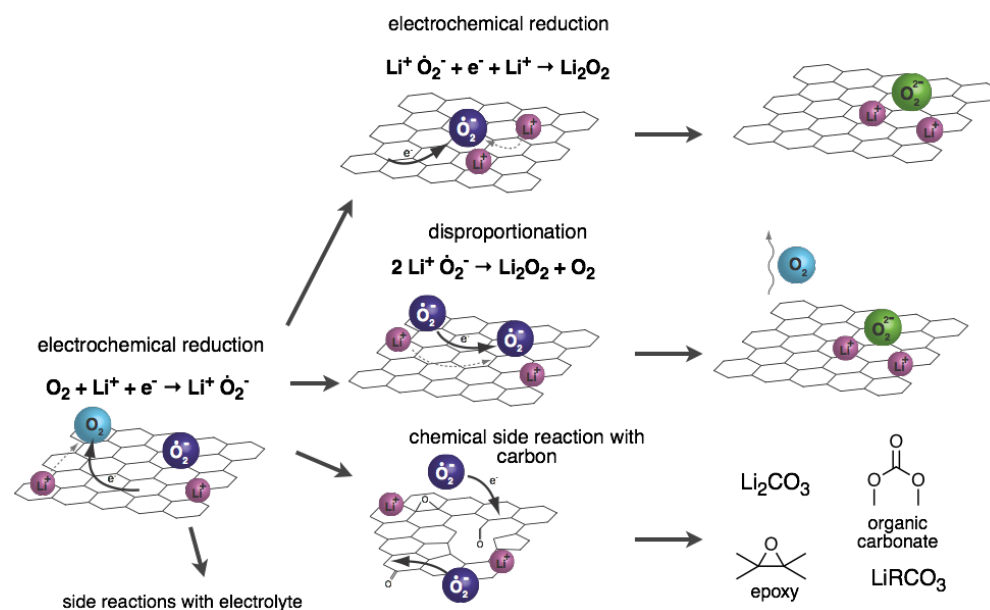
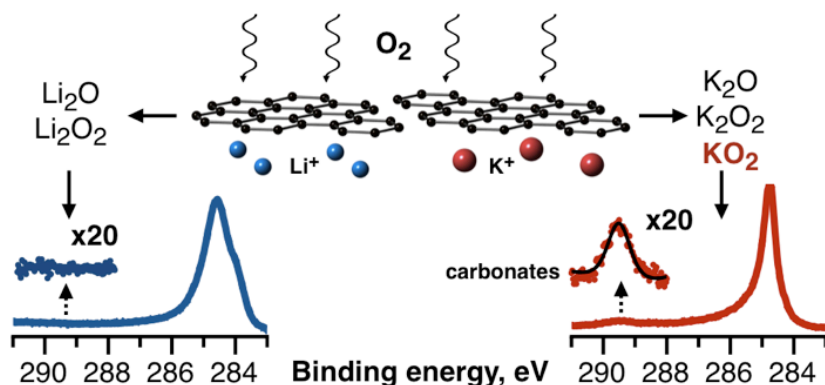
vvizgalov@fmlab.ru  
**Research:** Solid lithium-ion conductors

# Электрохимическая энергетика

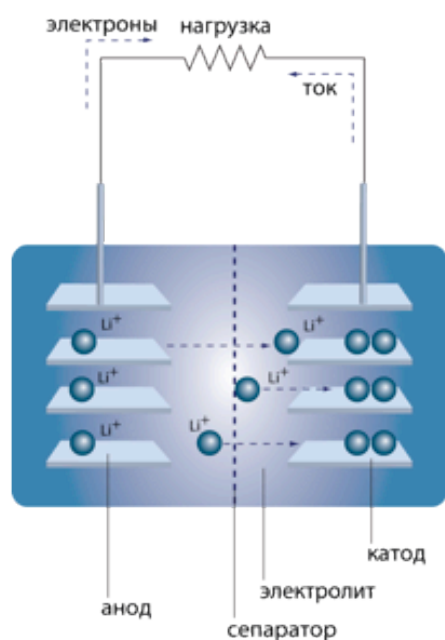


С.Н.С., к.х.н.  
Д.М.Иткус и др.

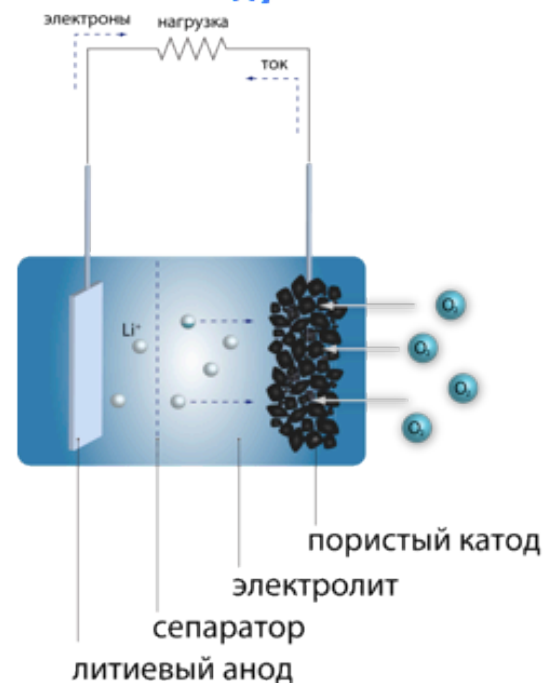
- проблемы создания перезаряжаемых литий-воздушных аккумуляторов,
- разработка высокоемких электродных материалов для интеркаляции лития,
- разработка новых твердых литий-проводящих электролитов,
- развитие методов инструментального анализа материалов и механизмов процессов в электрохимических источниках тока (в том числе in situ) при использовании современных подходов в электрохимии, электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, синхротронного излучения,
- многомасштабное компьютерное моделирование процессов в электрохимических источниках тока.



## Литий - Ионные Источники



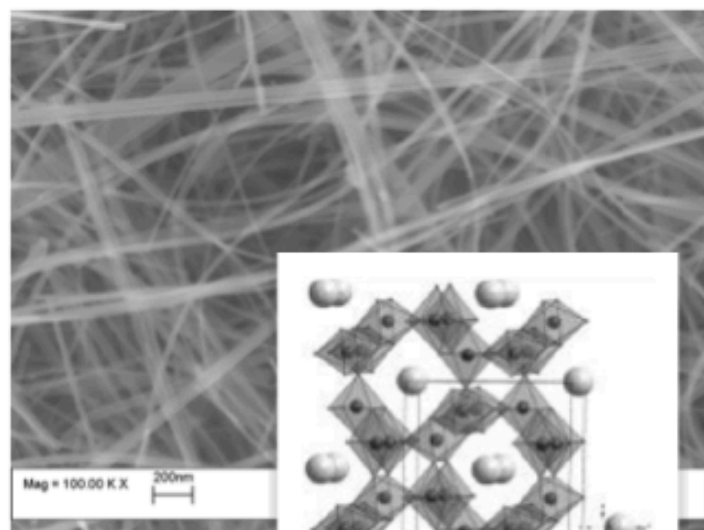
## Литий - Воздушные Источники



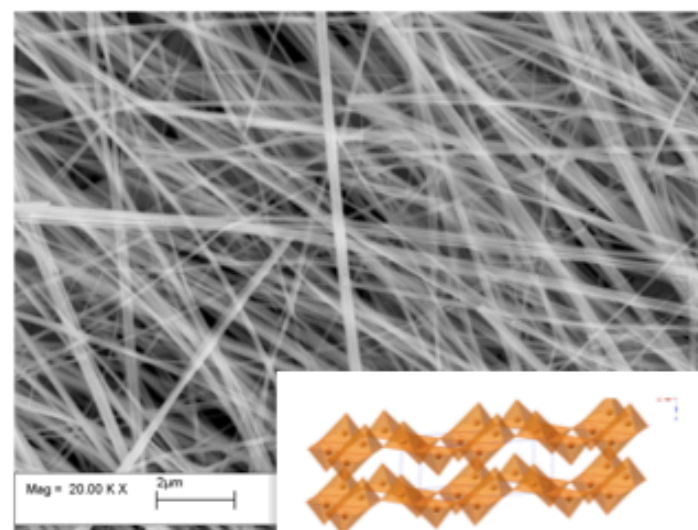
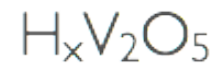
## Преимущества

- Высокое напряжение
- Высокая удельная энергия
- Высокий удельный ток и мощность
- Широкий диапазон рабочих условий
- Стабильность при циклировании
- Удельная энергия выше в 5-20 раз
- Кислород неисчерпаемый и бесплатный
- Низкий вес источника
- Огромная ёмкость источника

# СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ

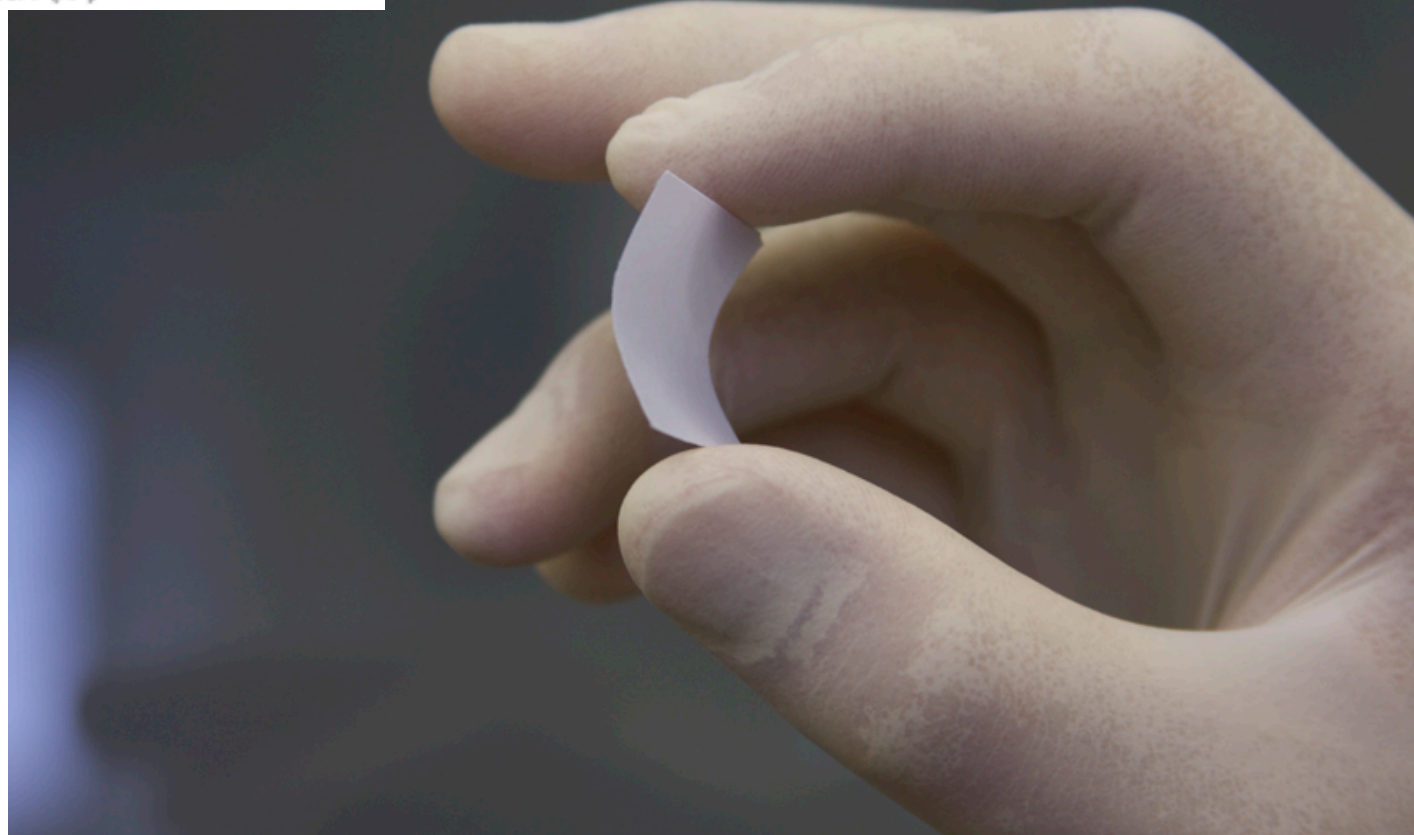
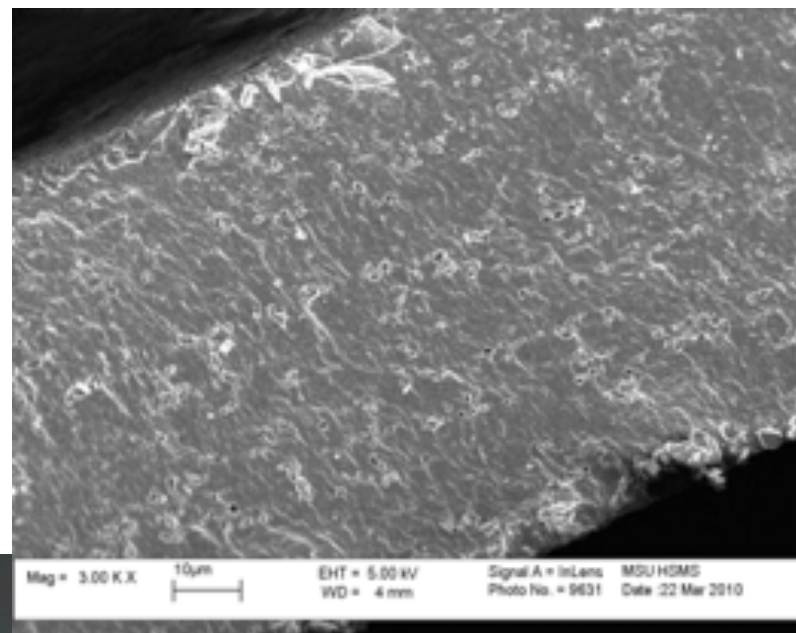
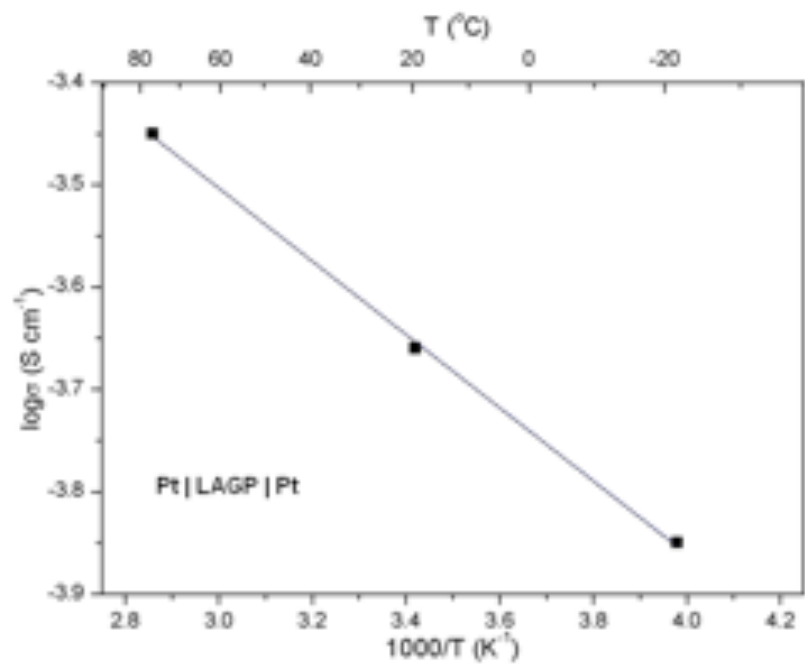


$\text{KMnO}_4 + \text{NH}_4\text{Cl}$ , 180 C, 48ч  
 $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , 95C, 20 МИН



$\text{V}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , 200 C, 24ч



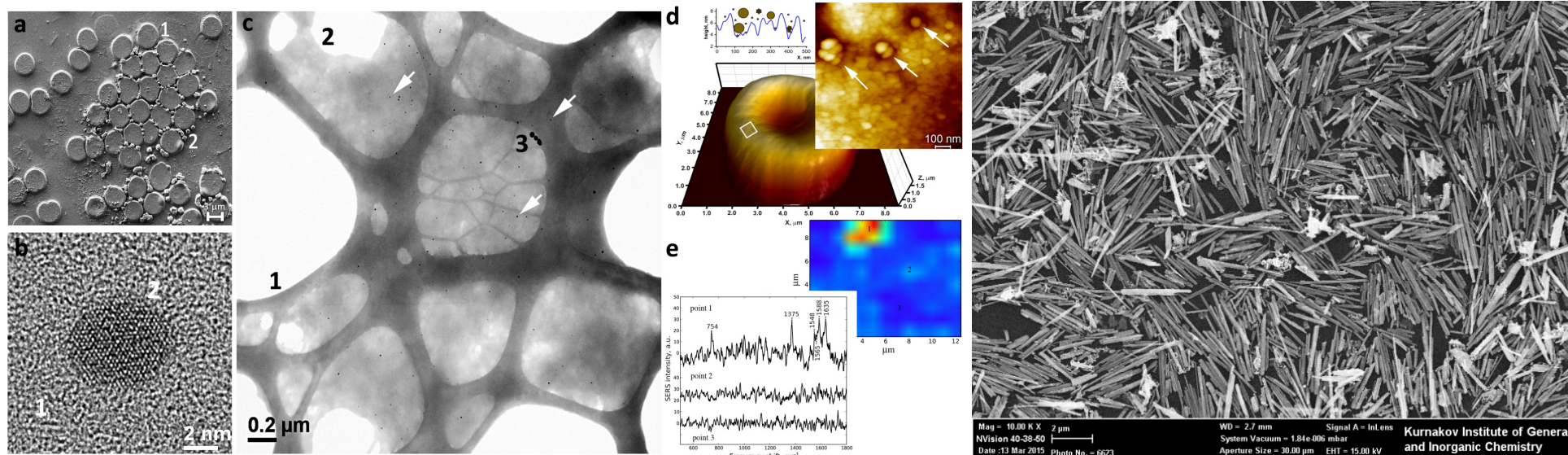


# Функциональные материалы



Член – корр.,  
д.х.н. Е.А.Гудилин и др.

- получение композитных наноматериалов для спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния,
- развитие подходов ГКР в диагностике биологических и других практически - важных объектов,
- синтез неорганических нанотрубок и нанокомпозитов на их основе,
- развитие методов получения планарных наноструктур,
- оптимизация методов «мягкой химии» получения наноструктурированных наноматериалов (магнитных, полупроводниковых, металлических).

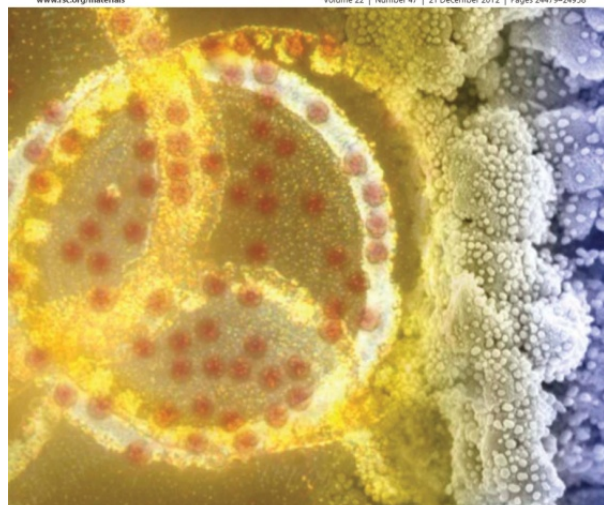


# Наночастицы благородных металлов

Journal of  
Materials Chemistry

www.rsc.org/materials

Volume 22 | Number 47 | 21 December 2012 | Pages 24479–24958



ISSN 0959-9428

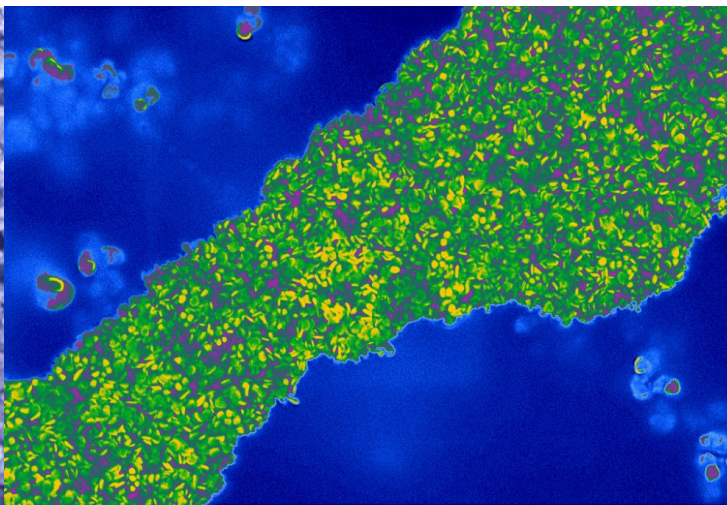
RSCPublishing

PAPER

Eugene A. Goodilin et al.  
Porous SERS nanostructures with stochastic silver ring morphology for biosensor chips



0959-9428(201212)22:47:1-6

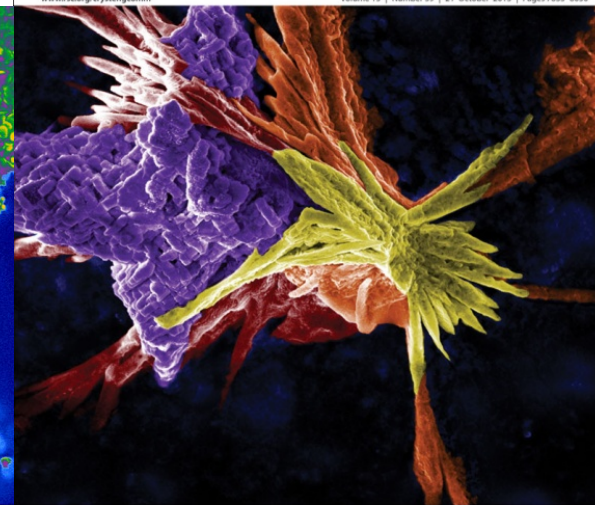


Mag = 100.00 K X 100 nm  
WD = 2.0 mm EHT = 7.00 kV Signal A = Intens. ESB Grid = 654 V Date: 13 Oct 2011 Time: 11:39:07  
NVision 40-38-60 FIB Imaging - SEM System Vacuum = 1.38e-006 mbar  
Aperture Size = 36.00 µm Gun Vacuum = 1.69e-009 mbar

CrystEngComm

www.rsc.org/crystengcomm

Volume 15 | Number 39 | 21 October 2013 | Pages 7835–8050



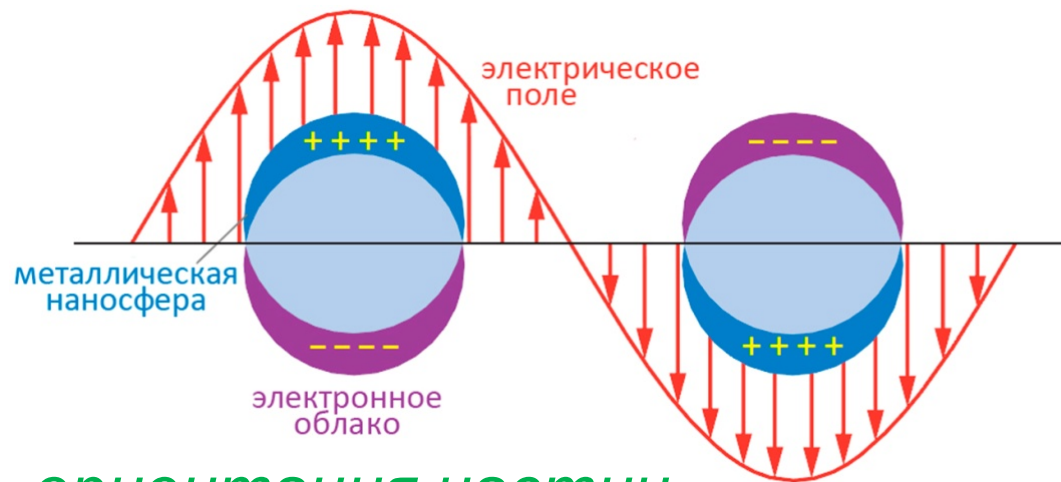
RSCPublishing

COVER ARTICLE

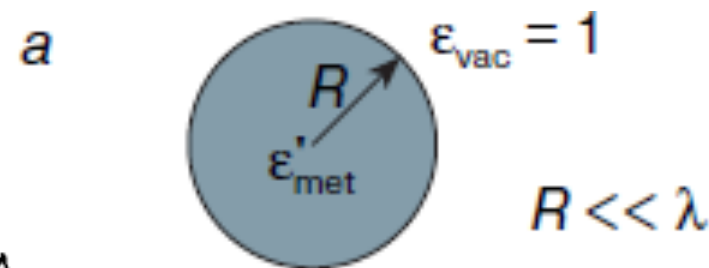
Senozens et al.  
Unusual silver nanostructures prepared by aerosol spray pyrolysis

- десятки способов контролируемого восстановления
- легкость получения ультрадисперсных систем заданной концентрации и с контролируемой морфологией дисперсной фазы
- низкая токсичность и цитотоксичность наночастиц
- надежная модификация поверхности (тиолы, амины)
- широкий диапазон структурно – чувствительных свойств
- разработке активных элементов для современных методов спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния при определении нМ концентраций аналитов по «молекулярным отпечаткам пальцев»

# Локальные плазмоны



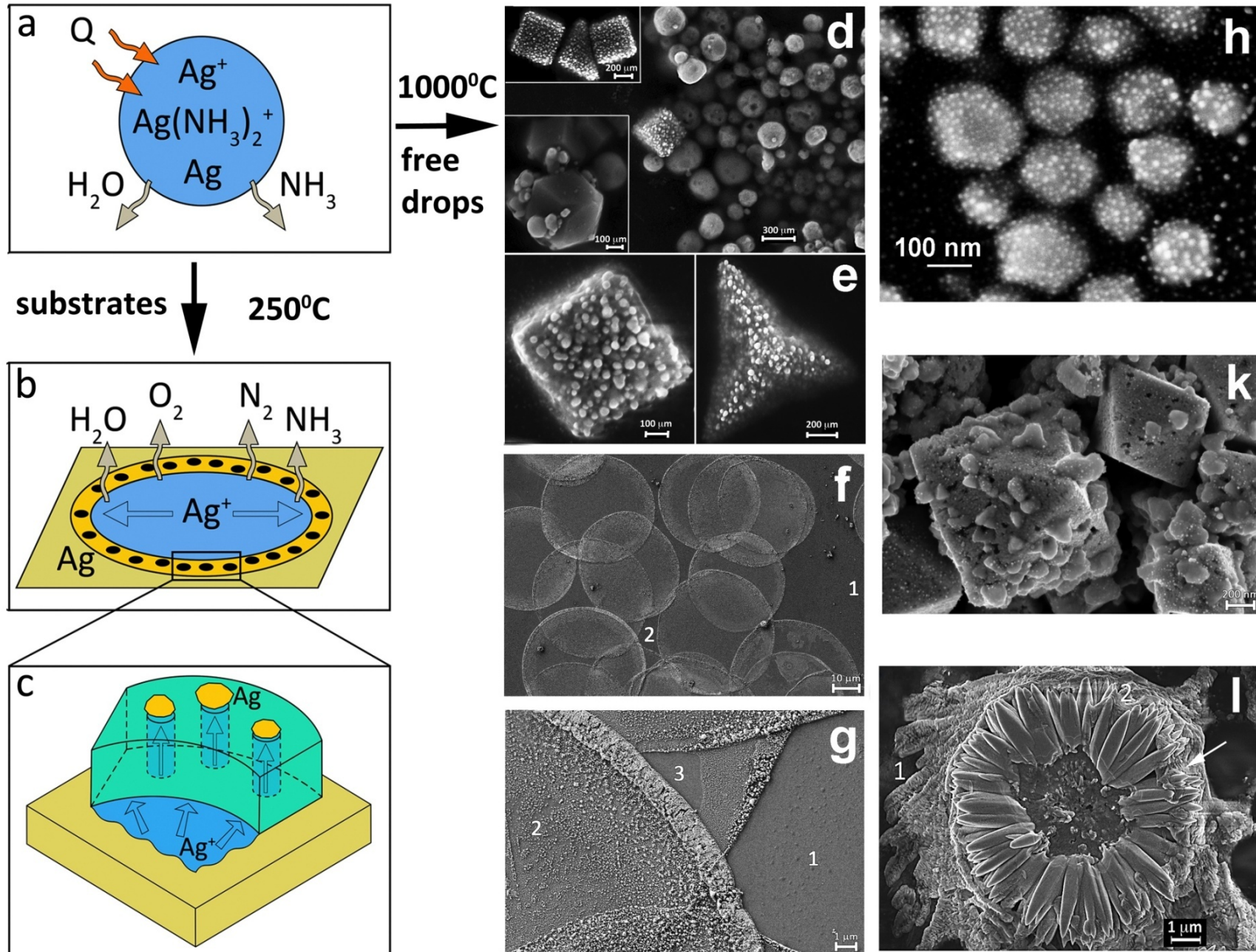
*ориентация частиц*



|    |     |      |     |    |     |     |     |      |    |     |    |    |    |    |    |    |       |
|----|-----|------|-----|----|-----|-----|-----|------|----|-----|----|----|----|----|----|----|-------|
| IA |     |      |     |    |     |     |     |      |    |     |    |    |    |    |    |    | VIIIA |
| H  | IIA |      |     |    |     |     |     |      |    |     |    | He |    |    |    |    |       |
| Li | Be  |      |     |    |     |     |     |      |    |     |    | B  | C  | N  | O  | F  | Ne    |
| Na | Mg  | IIIB | IVB | VB | VIB | VIB | VIB | VIII | IB | IIB | Al | Si | P  | S  | Cl | Ar |       |
| K  | Ca  | Sc   | Ti  | V  | Cr  | Mn  | Fe  | Co   | Ni | Cu  | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr    |
| Rb | Sr  | Y    | Zr  | Nb | Mo  | Tc  | Ru  | Rh   | Pd | Ag  | Cd | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe    |
| Cs | Ba  | La   | Hf  | Ta | W   | Re  | Os  | Ir   | Pt | Au  | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn    |

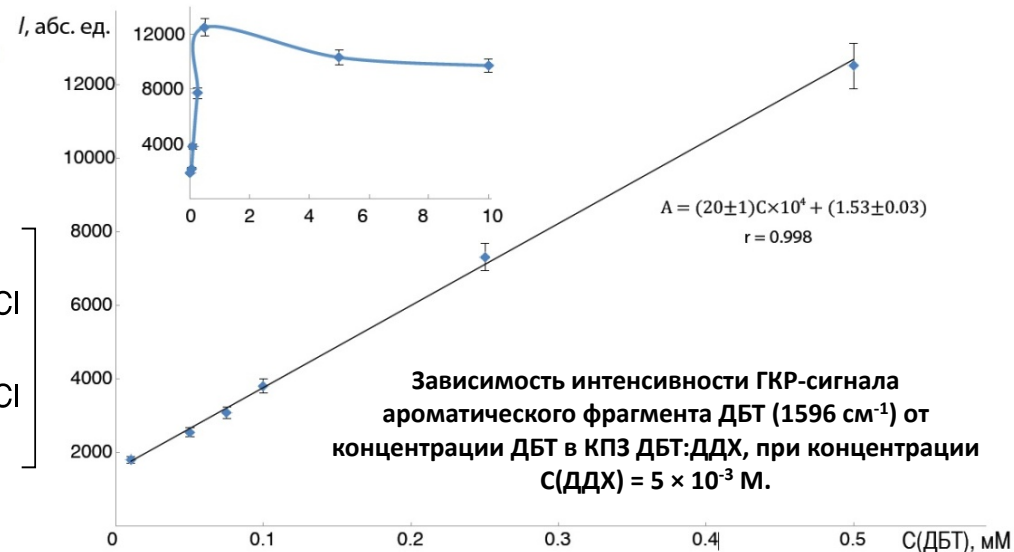
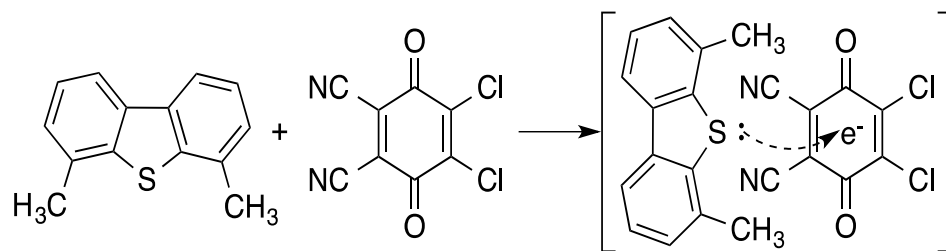
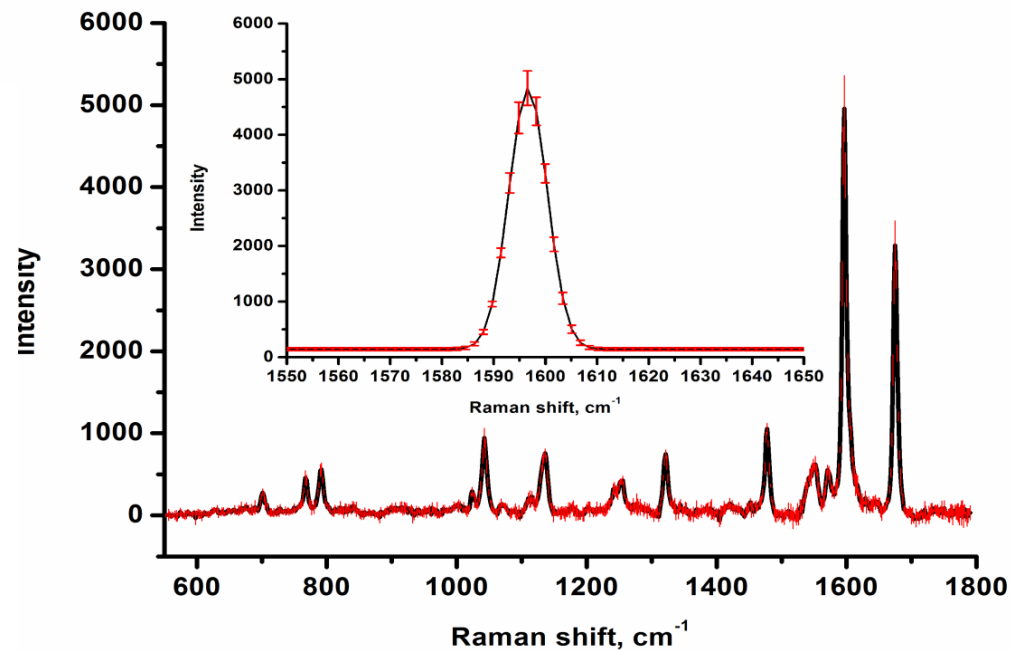
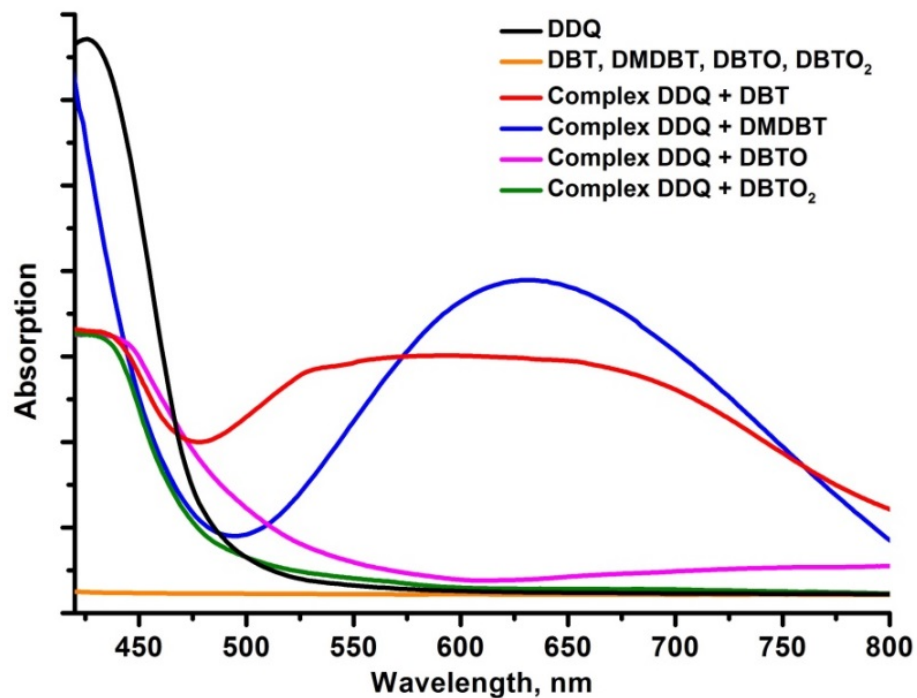
*локальный метод  
(10 – 15 нм)*

# USSR (UltraSonic Silver Rain)

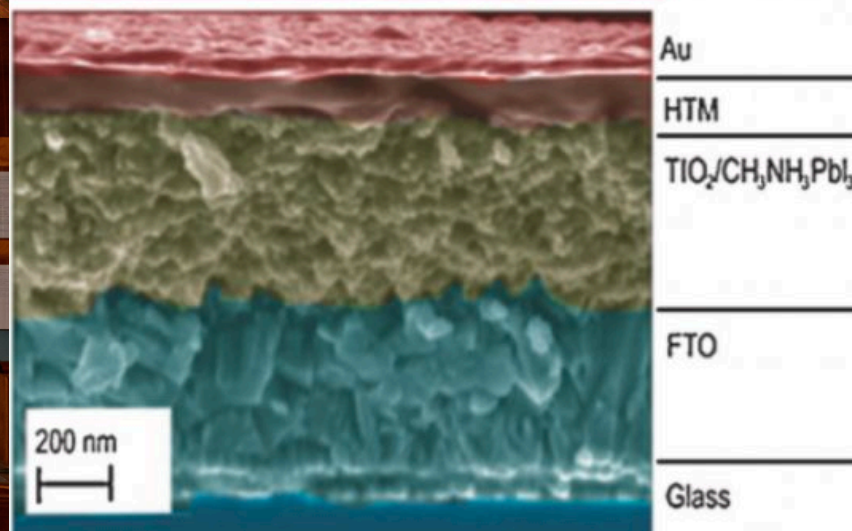
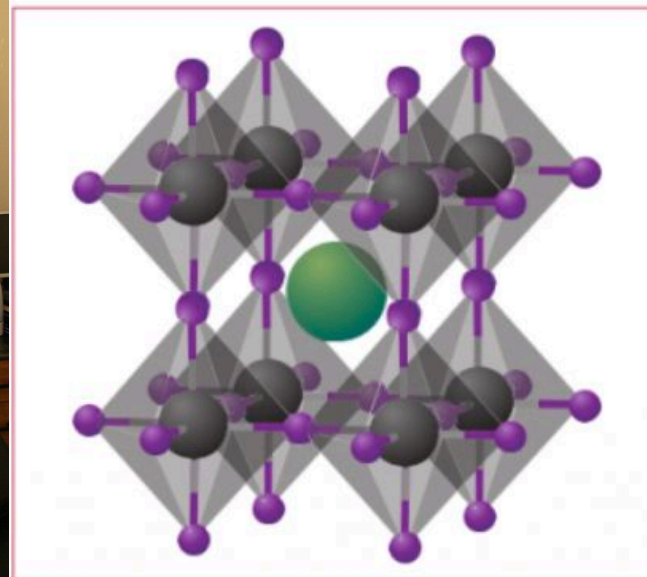


J.Mater.Chem., 2012; CrystEngComm, 2013; Plasmonics, 2013

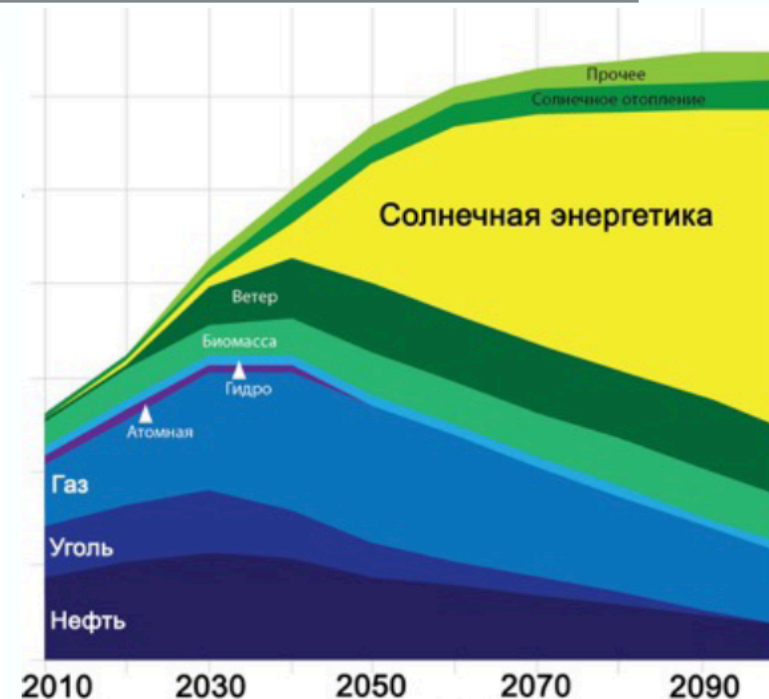
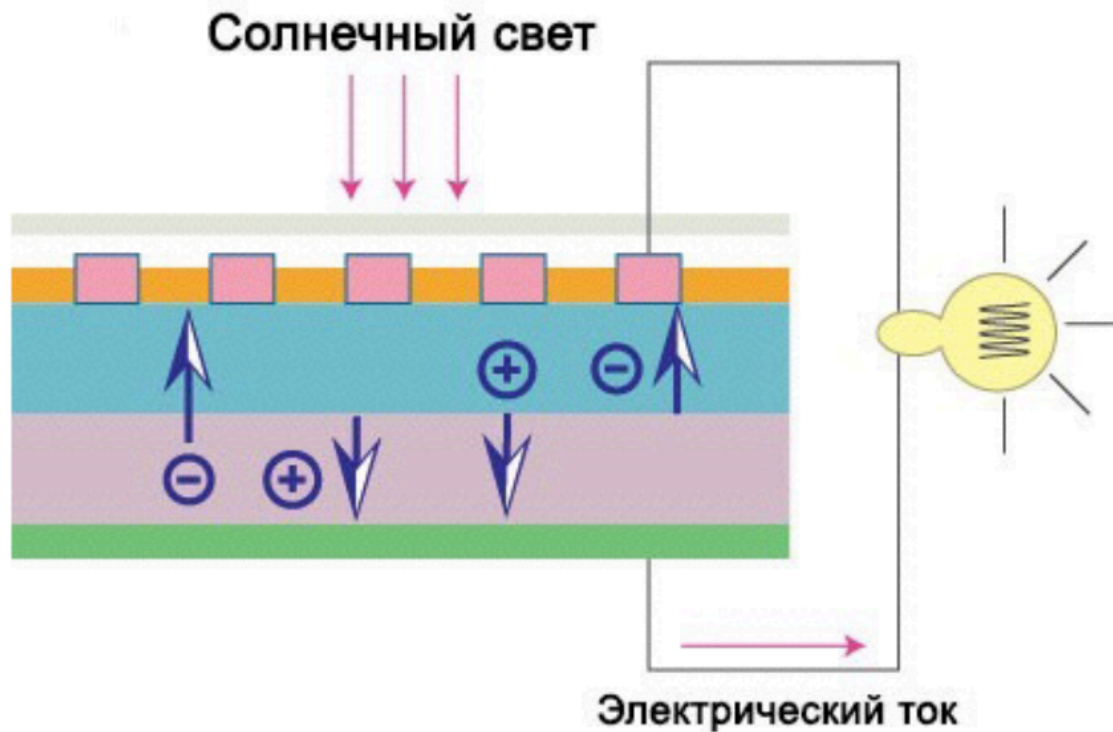
# ГКР и комплексы с переносом заряда



# Молодежная лаборатория Новых Материалов для Солнечной Энергетики



# Солнце - самый перспективный источник безопасной энергии



Солнечная батарея позволяет переводить энергию света в электричество





## История развития перовскитных ячеек

**1991 год**

Михаэль Гретцель создал  
сенсibilизированные красителем  
солнечные ячейки (ячейки Гретцеля)



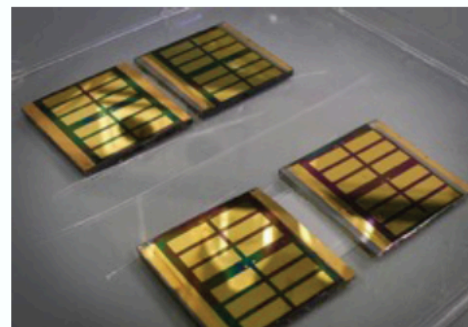
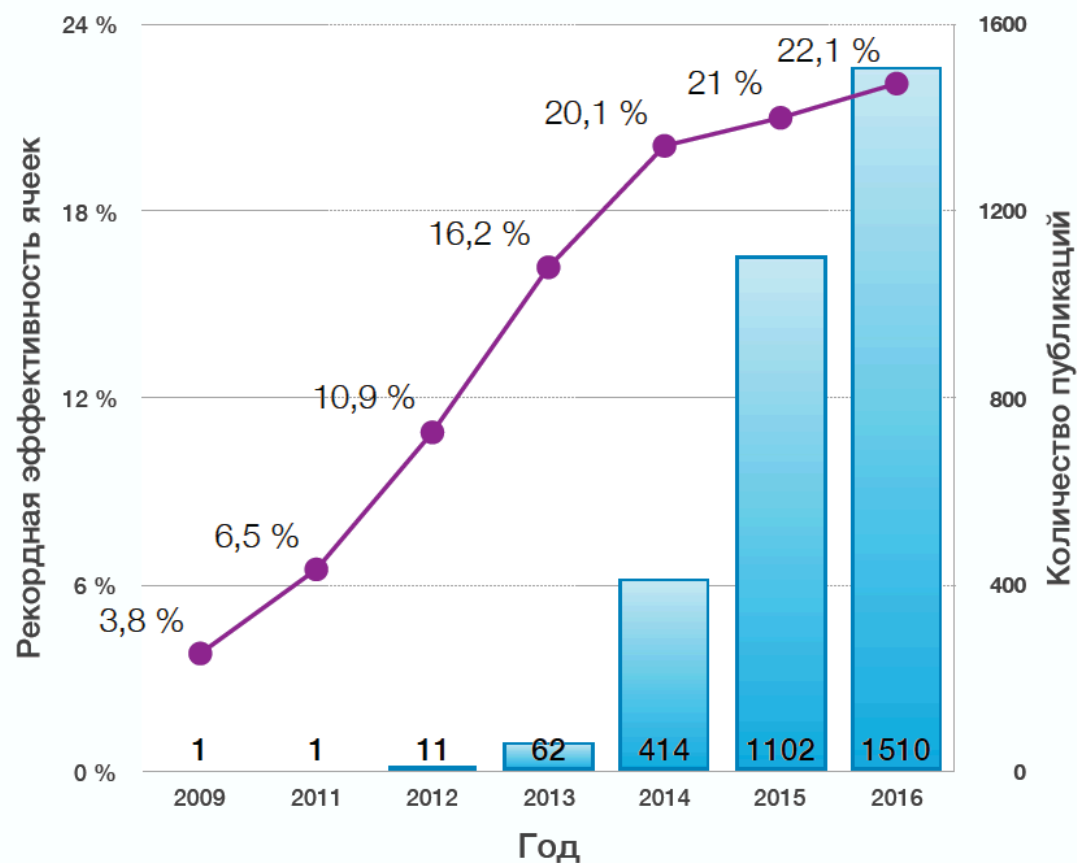
**2009 год**

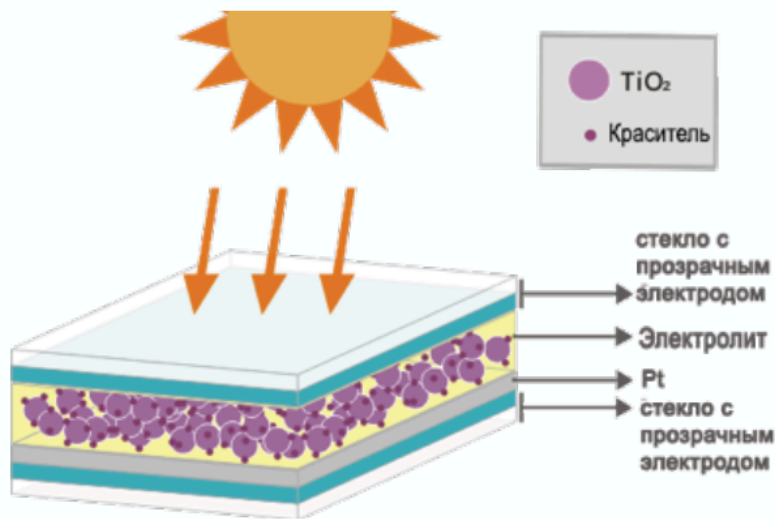
Японский ученый Тсутому Миясака  
заменял органический краситель на  
перовскит в ячейке Гретцеля



**2016 год**

Перовскитные солнечные ячейки  
с рекордной эффективностью 22,1%



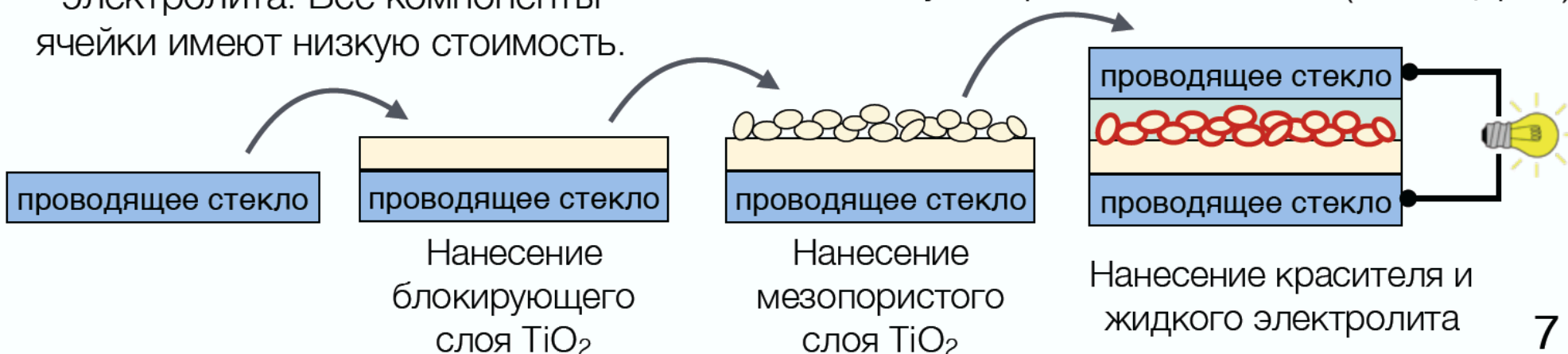


Ячейки Гретцеля состоят из электрон-проводящего материала ( $\text{TiO}_2$ ), органического красителя и дырочно-проводящего жидкого электролита. Все компоненты ячейки имеют низкую стоимость.

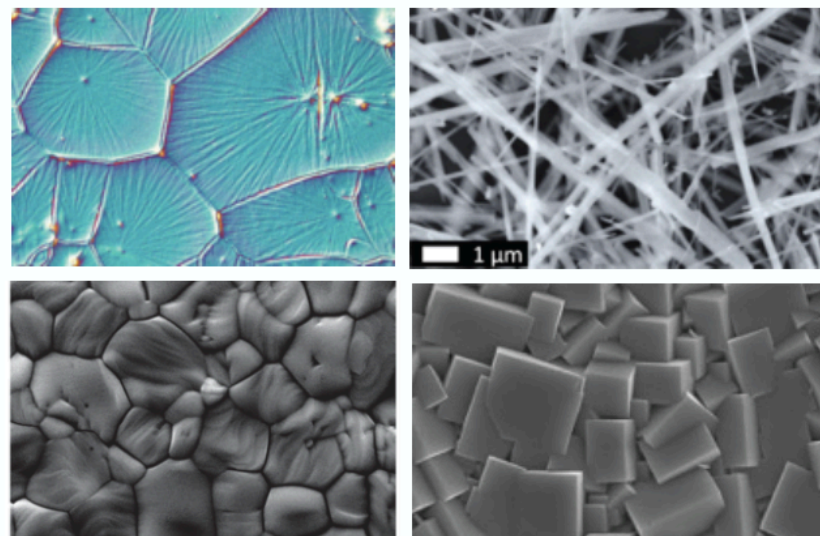
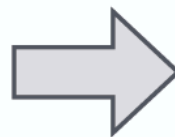
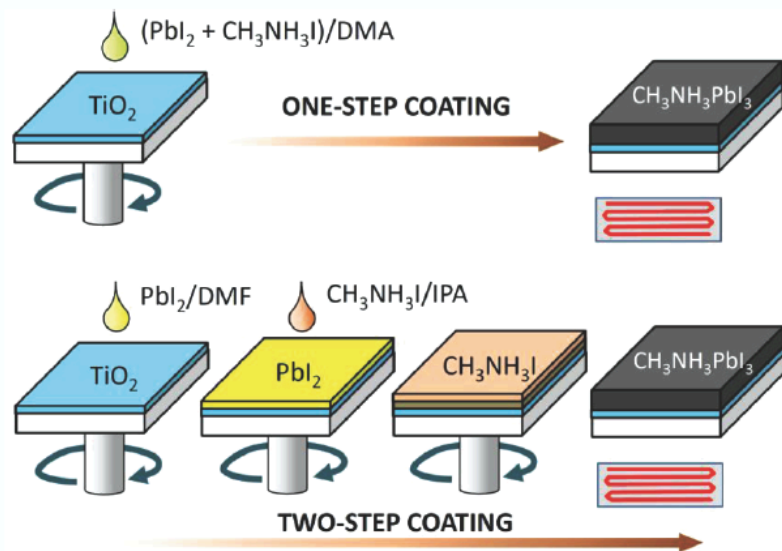
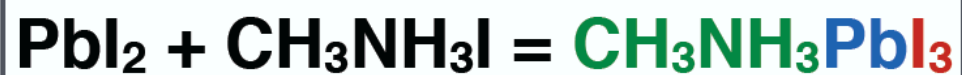
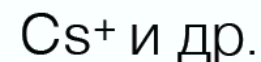
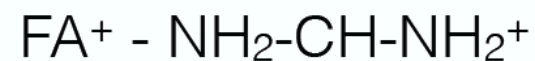
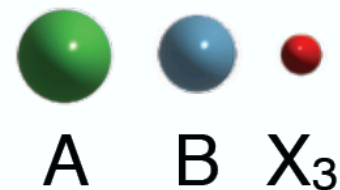
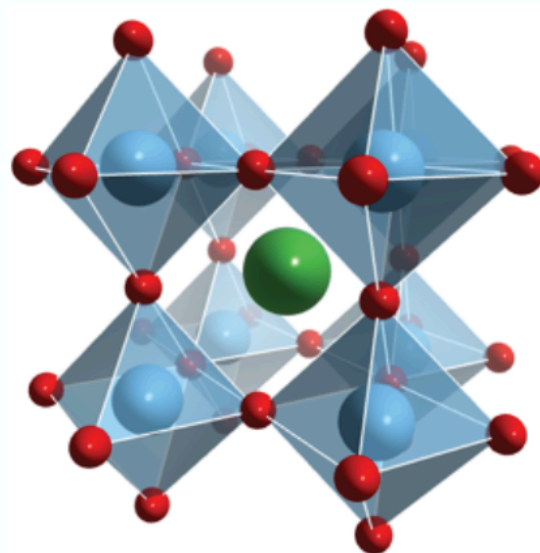
Михаэль Гретцель держит в руках панель из сенсibilизированных красителем ячеек



Ячейки Гретцеля установлены на всех окнах в университете Лозанны (Швейцария)



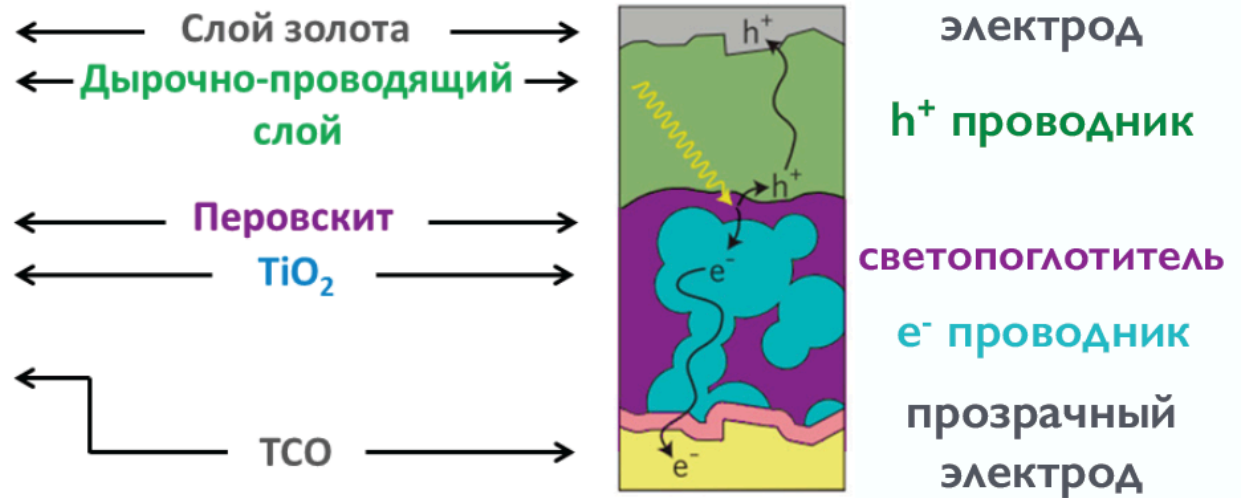
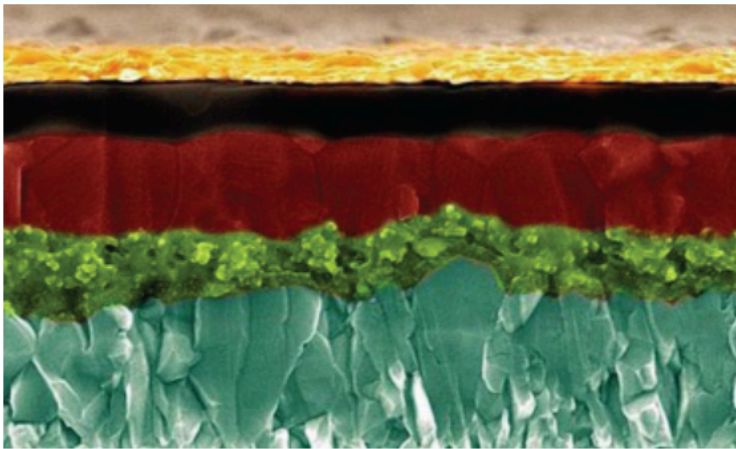
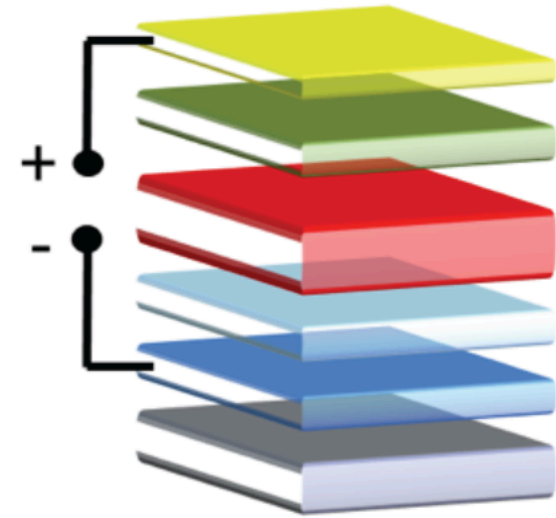
Перовскит - это соединение с общей формулой  $ABX_3$  и характерной кристаллической структурой



**$h^+$  проводник** - материал, преимущественно проводящий по дыркам

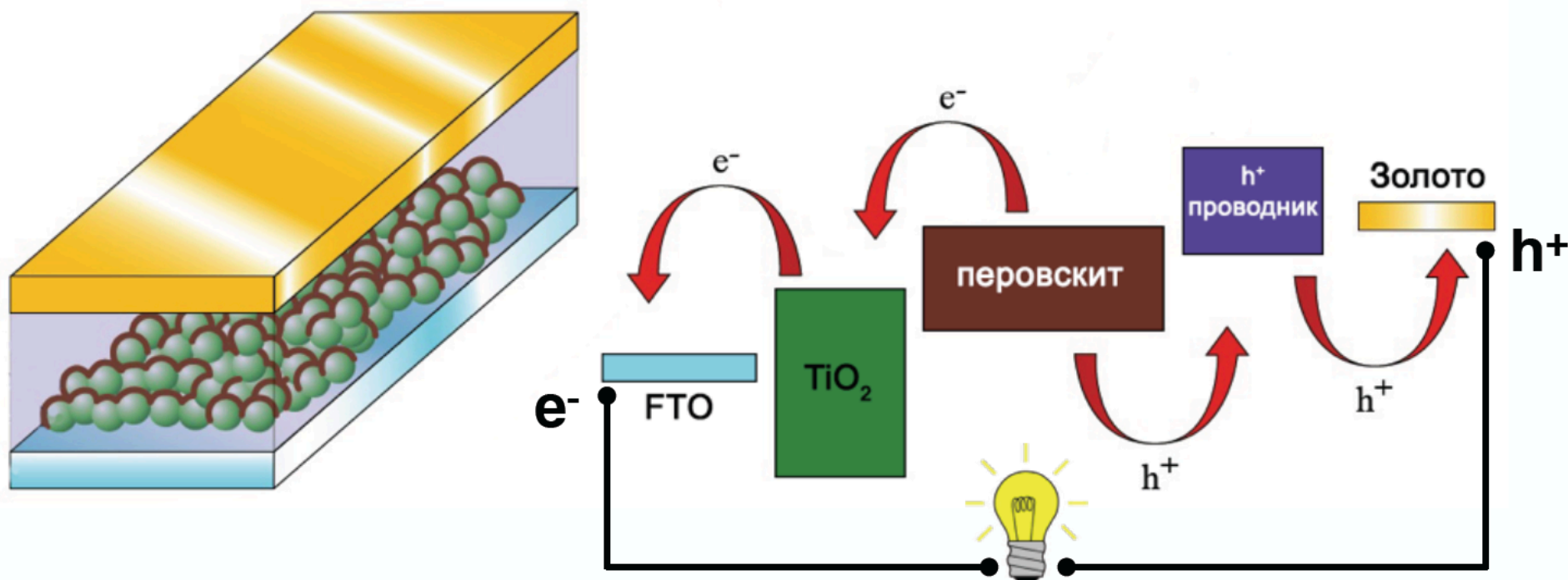
**$e^-$  проводник** - материал, проводящий по электронам

**СВЕТПОГЛОТИТЕЛЬ** - материал, в котором генерируются пары электрон-дырка при поглощении света



Есть два основных типа носителей заряда - электроны ( $e^-$ ) и дырки ( $h^+$ )

Каждый полупроводниковый материал обладает определенной энергией краев зон. В ячейках важно их взаимное расположение



Электронам выгодно “спускаться” по шкале энергии - то есть понижать свою энергию. Дыркам наоборот выгодно “подниматься”

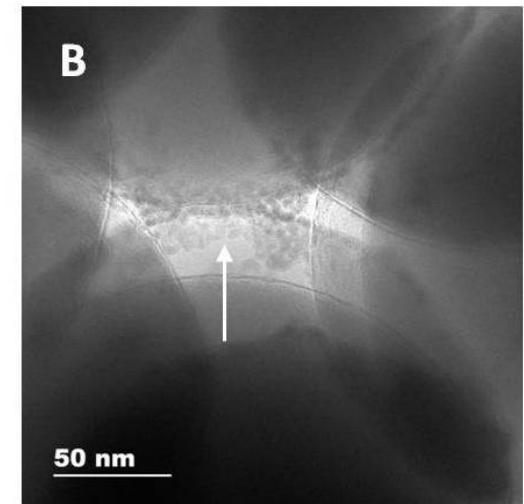
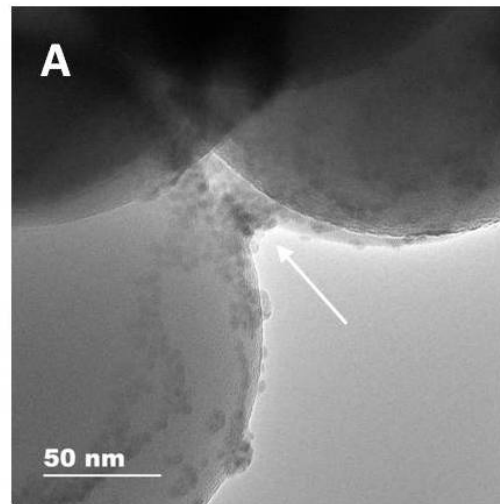
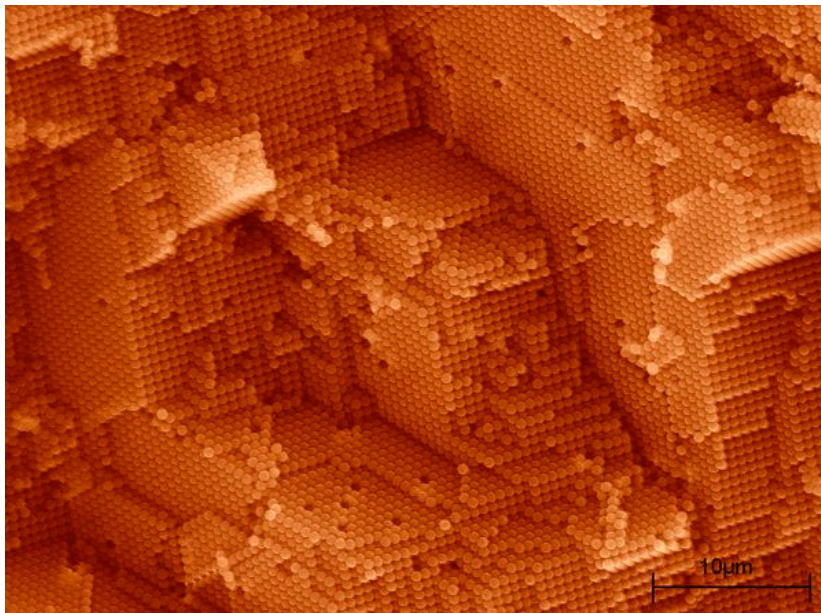


# Фотоннокристаллические структуры



Доц., к.ф.-м.н.  
С.О.Климонский

- получение моодисперсных суспензий микросфер диоксида кремния и полистирола,
- разработка методов осаждения фотоннокристаллических пленок,
- получение фотоннокристаллических структур с периодически расположенными центрами люминесценции, синтез матриц с инвертированной опаловой структурой,
- исследование и моделирование оптических свойств фотонных кристаллов.



*Квантовые точки CdSe, внедренные в структуру синтетического опала (TEM)*

# Функциональные наноматериалы



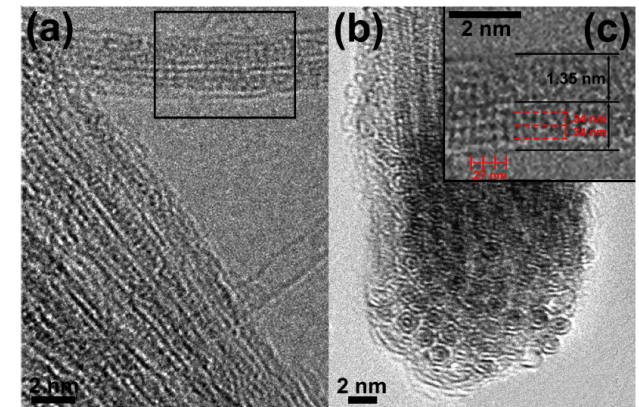
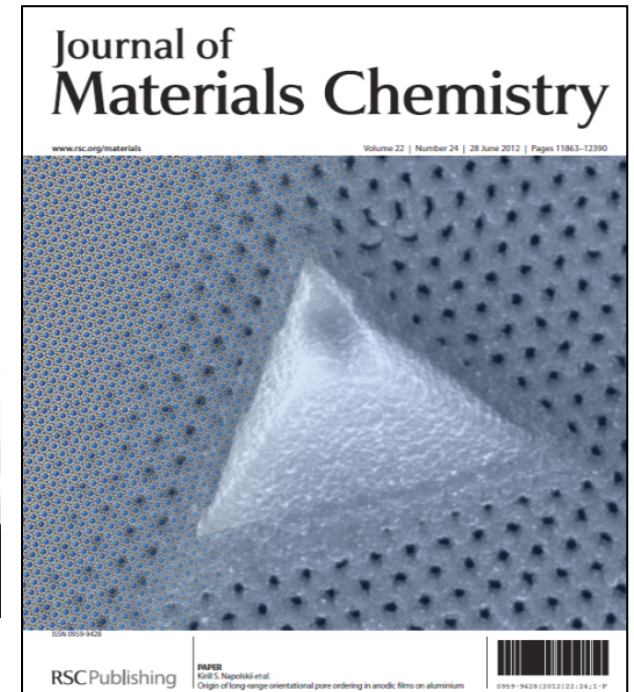
*Член – корр.,  
д.х.н. А.В.Лукашин*



*Доц., к.х.н.  
А.А.Елизеев*



*В.н.с., к.х.н.  
К.С.Напольский*

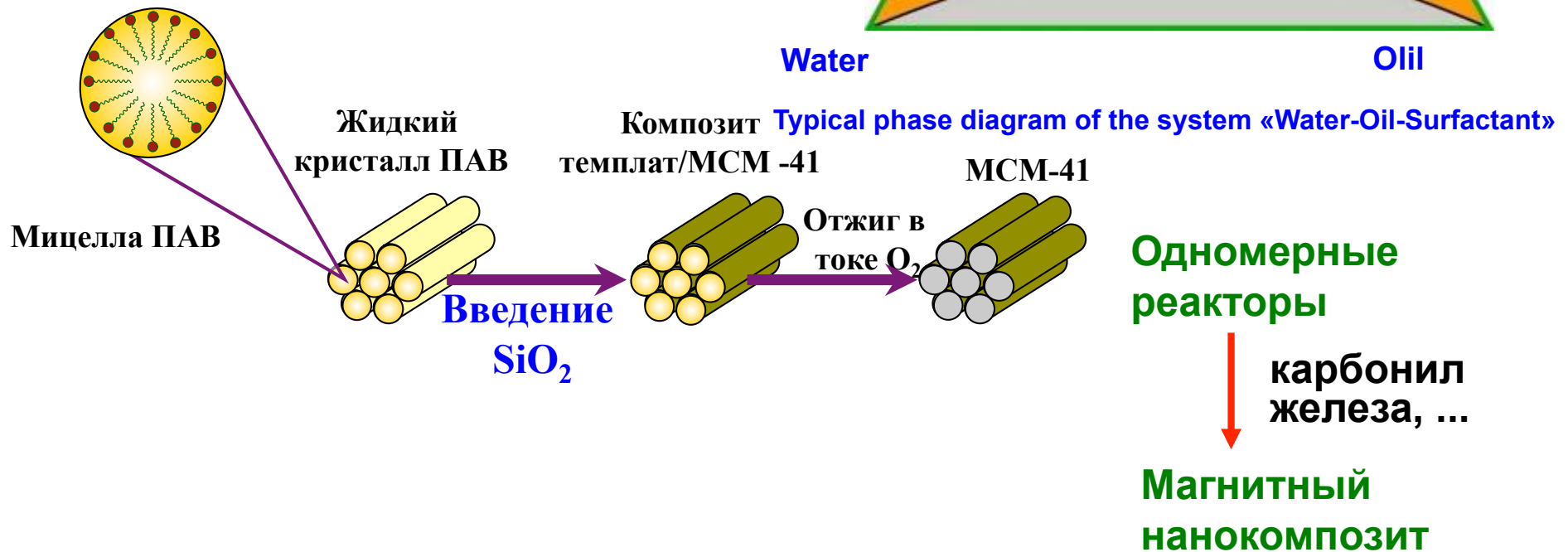
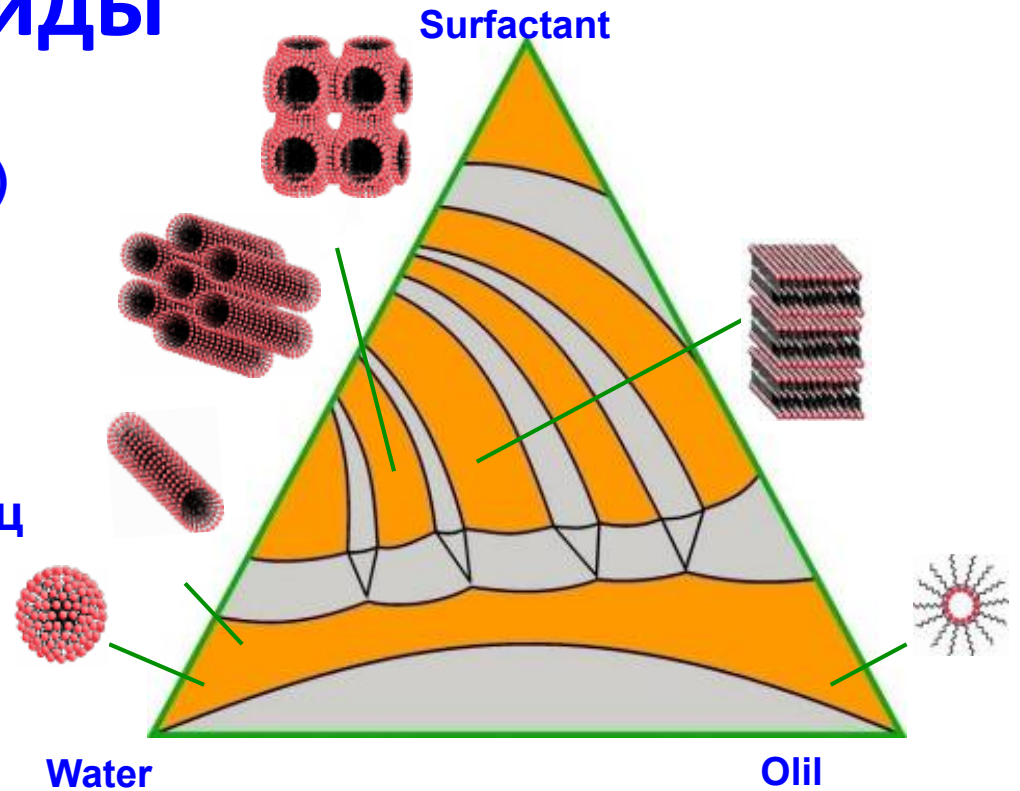


- разработка неорганических и гибридных мембран для фракционирования газообразных и жидких сред,
- получение одномерных наноструктур на основе нанонитей и углеродных нанотрубок для элементов наноэлектроники,
- разработка планарных газовых сенсоров,
- синтез высокоэффективных катализаторов,
- создание фотонных кристаллов,
- фундаментальные исследования процессов самоорганизации,
- развитие новых методов аттестации пространственно-упорядоченных наноматериалов.



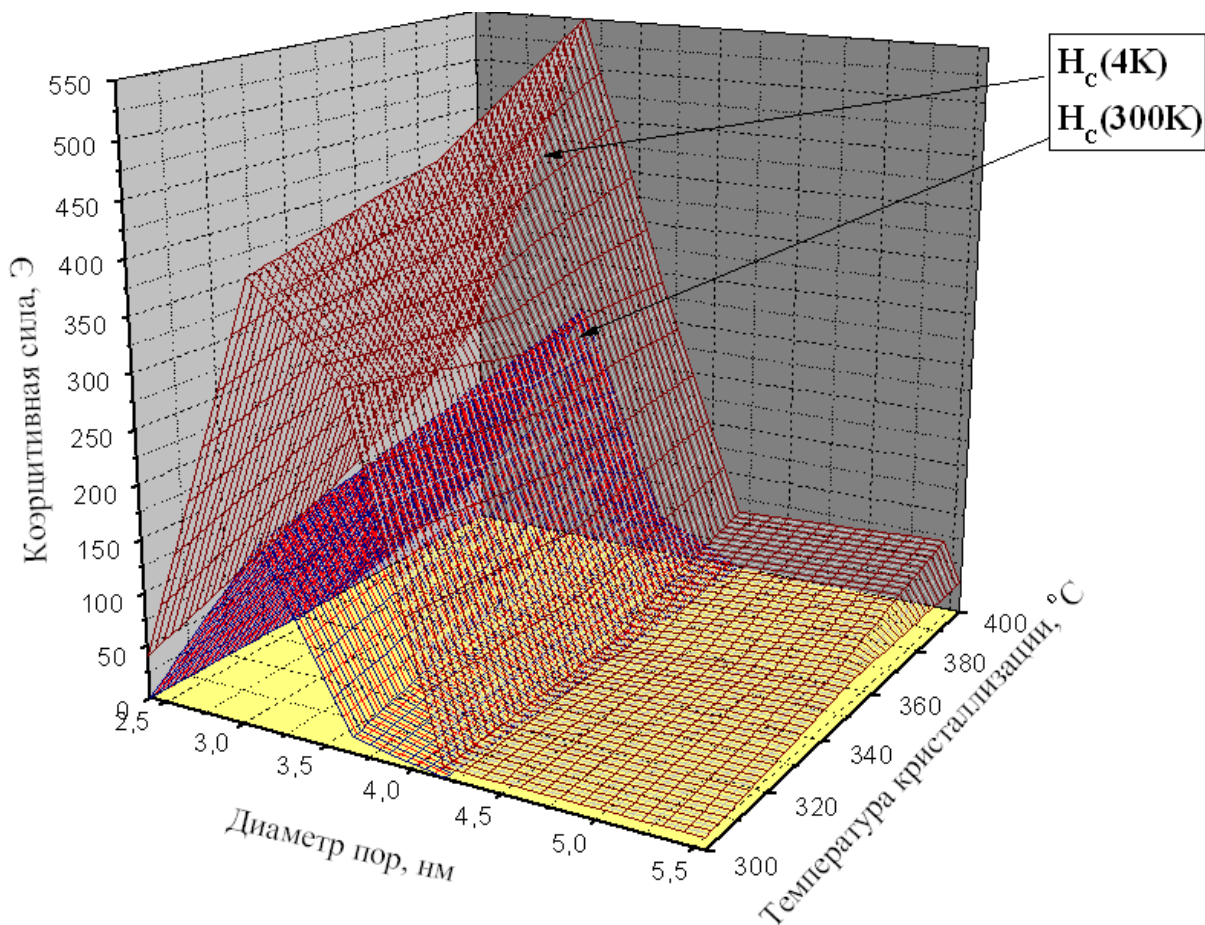
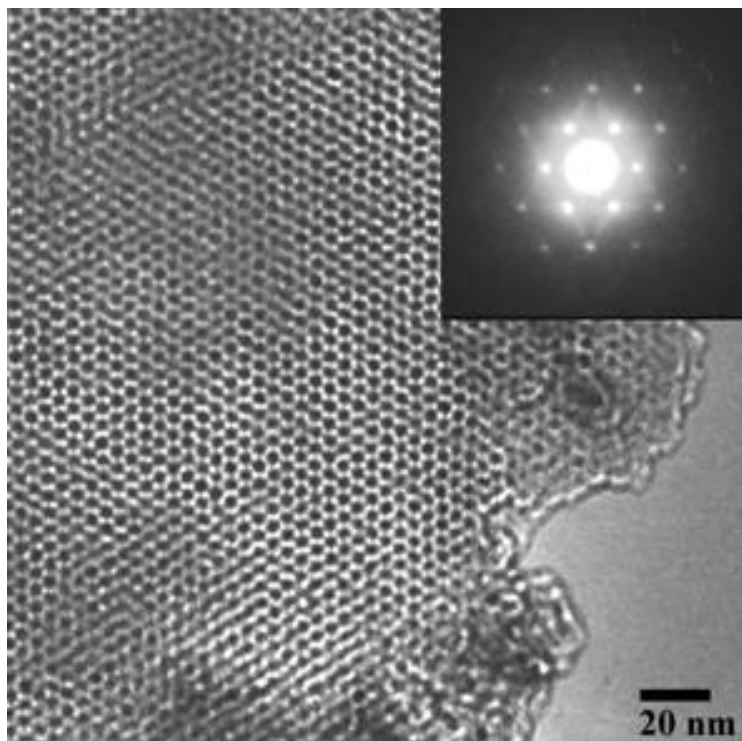
# Мезопористые оксиды

- Варьируемый размер пор (1-10 нм)
- Однородность распределения пор по размеру
- Упорядоченность пор
- Создание анизотропных систем
- Изолированность каналов-пор
- Решение проблемы агрегации и химической изоляции наночастиц



# Магнитные наноконпозиты SiO<sub>2</sub>-Fe

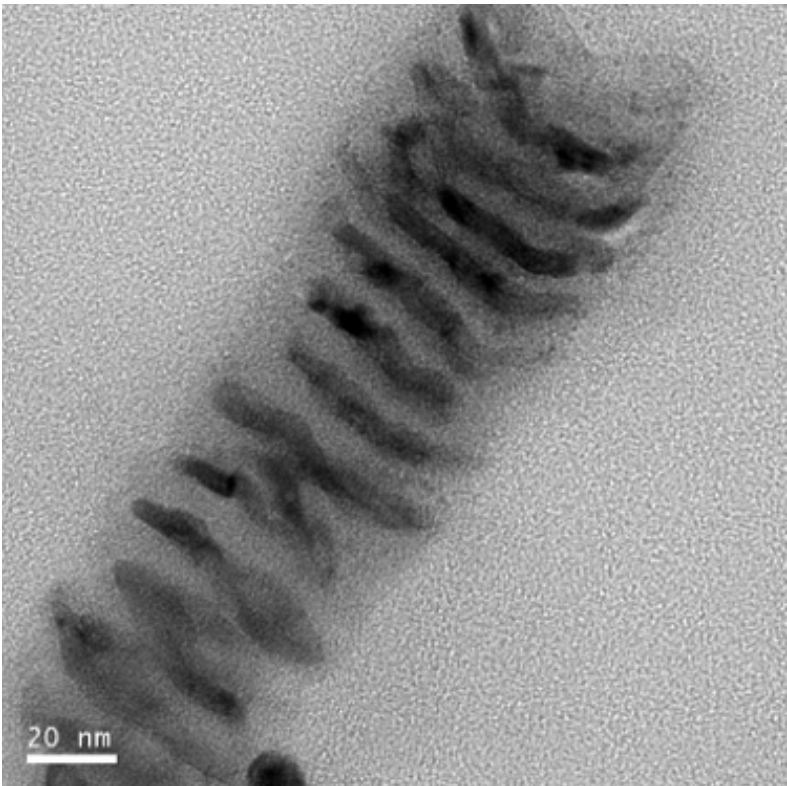
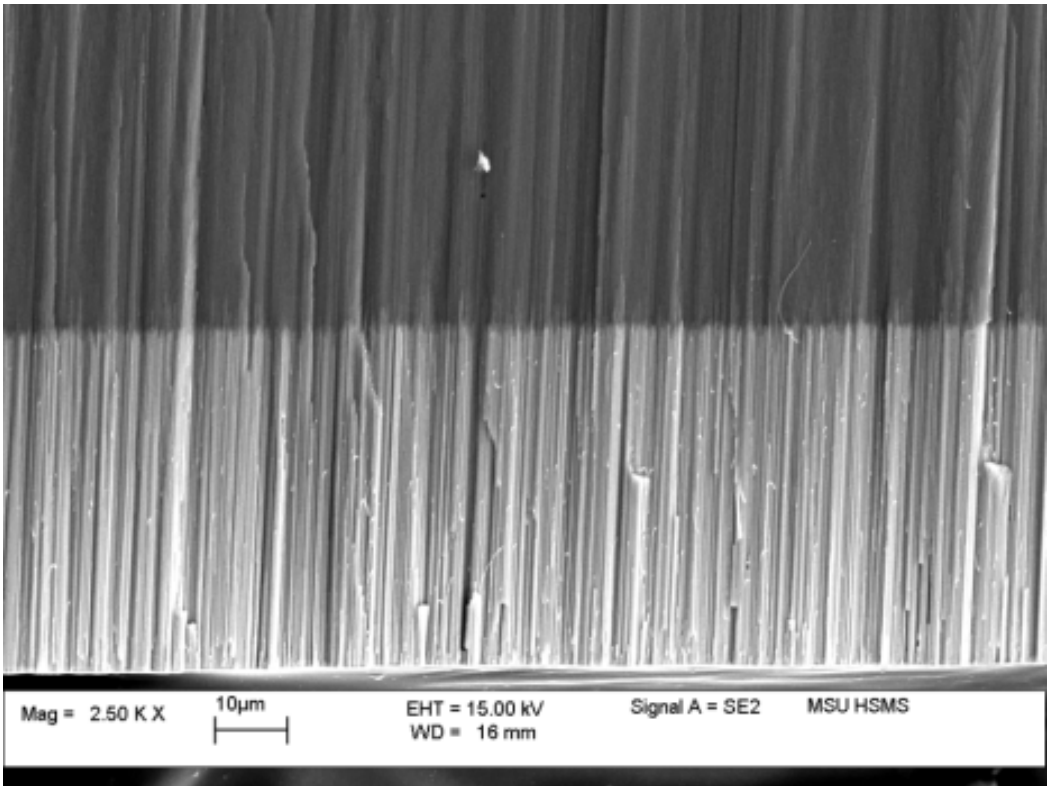
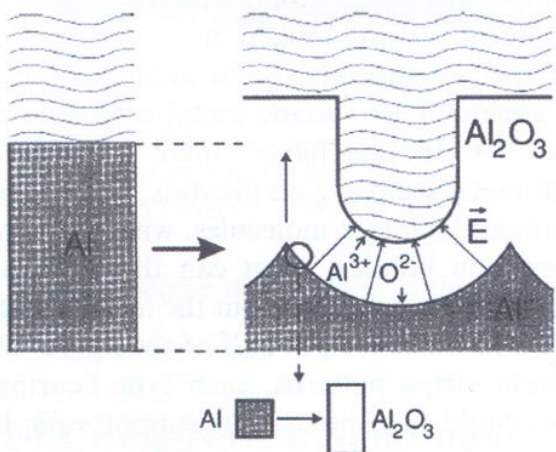
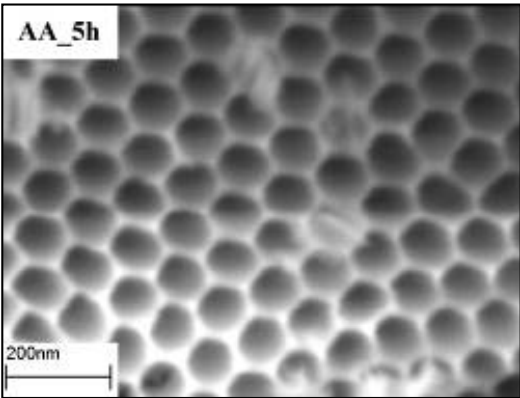
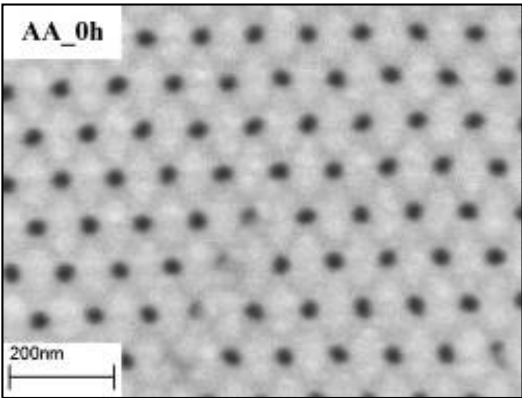
Сверхвысокая плотность записи информации (1-10 Тбит/кв.дюйм)



Нано-  
провода  
Fe в  
мезо-  
пористом  
SiO<sub>2</sub>

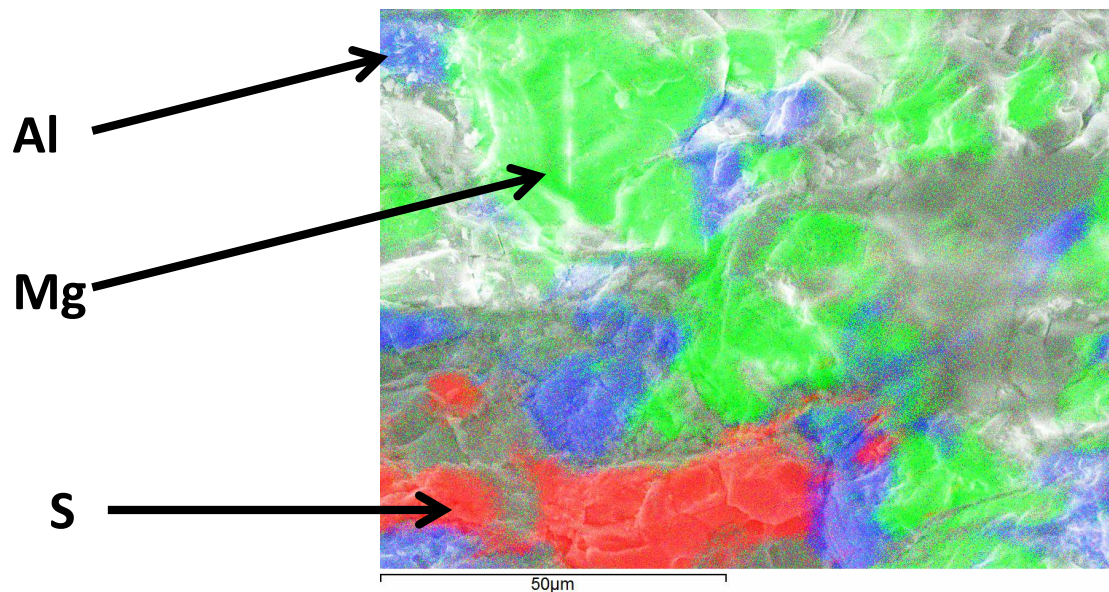
| T <sub>крист</sub> , °C | T <sub>блок</sub> , К | Анизотропия | Коэрцитивная сила, Э |      | Намагн.-насыщ., 300К, э.м.е./г |
|-------------------------|-----------------------|-------------|----------------------|------|--------------------------------|
|                         |                       |             | 4К                   | 300К |                                |
| 350                     | 260                   | 32          | 464                  | 201  | 0,53                           |
| 375                     | >300                  | >40         | 536                  | 222  | 0,61                           |
| 400                     | 280                   | 35          | 532                  | 185  | 0,76                           |

# Нанокompозиты



# Чебаркульский метеорит

- в его исследовании принимали участие сотрудники ФНМ



(импакт-фактор в 2016 г. – 38.9)

# Layered memristive and memcapacitive switches for printable electronics

Alexander A. Bessonov<sup>1\*</sup>, Marina N. Kirikova<sup>1</sup>, Dmitrii I. Petukhov<sup>1,2</sup>, Mark Allen<sup>3</sup>, Tapani Ryhänen<sup>3</sup> and Marc J. A. Bailey<sup>1</sup>

Впервые получены структуры со свойствами гибкого мемристора из материала на основе слоистого дисульфида молибдена и слоистого дисульфида вольфрама (мемристор — это особое устройство с эффектом памяти, способное хранить информацию о приложенном напряжении и протекающем через него токе, изменяя электрическое сопротивление).



# Научные направления

(кафедра неорганической химии)

- Новые методы синтеза функциональных материалов, био- и наноматериалов, развитие методов анализа материалов
- Биокерамика, остеопластические биоматериалы, реакционно-связанные материалы на основе фосфатов кальция, методы 3D прототипирования, нано- и биоматериалы на основе РЗЭ
- Широкозонные полупроводники, квантовые точки и структуры, фотоннокристаллические структуры
- Углеродные и неорганические нанотрубки, наноэлектроника
- Новые материалы для электрохимической энергетики
- Биосенсорные системы
- Пористые керамические мембраны, термokatалитические сенсоры
- Полупроводниковые сенсоры
- Неорганические клатраты, термоэлектрические материалы
- Новые комплексные соединения, люминесцентные материалы
- Новые материалы для солнечной энергетики

# Материалы подготовлены:

- В.И. Путляев, Т.В. Сафронова, П.В. Евдокимов, Е.С. Климашина, Я.Ю Филиппов, А.В. Кнотько, А.В. Гаршев
- Е.А.Гудилин, А.А.Семенова, М.О.Володина, А.Б.Тарасов, А.Ю.Поляков, Н.П.Шленская
- Н.А.Браже, Г.В.Максимов
- Д.М.Иткис, А.В.Чертович
- А.В.Лукашин, А.А.Елисеев, К.С.Напольский
- В.К.Иванов, А.Е.Баранчиков
- Р.Б.Васильев
- С.О.Климонский
  
- *Факультет наук о материалах, лаборатория неорганического материаловедения химического факультета МГУ*
- *Биологический факультет МГУ*
- *Физический факультет МГУ*
- *ИМЕТ РАН*
- *ИОНХ РАН*

# NANO > XI

НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!



<http://enos.nanometer.ru>