

# Наноматериалы и молодые ученые



Е.А.Гудилин, МГУ  
[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)  
[goodilin@yandex.ru](mailto:goodilin@yandex.ru)

**Фестиваль науки**  
Москва 2018

# Материаловедческие миниреволюции



- Реальная структура твердого тела – с 70х годов
- Криохимическая технология – с 70х годов
- Магнетодиэлектрики (ферриты) – с 70х годов
- Синергетика воздействий – после 2005 года
- Процессы самоорганизации – после 2000 года
- **Образование материаловедов** – после 90х годов
- **Аналитика материалов** – всегда (ЦКП ФНМ МГУ)

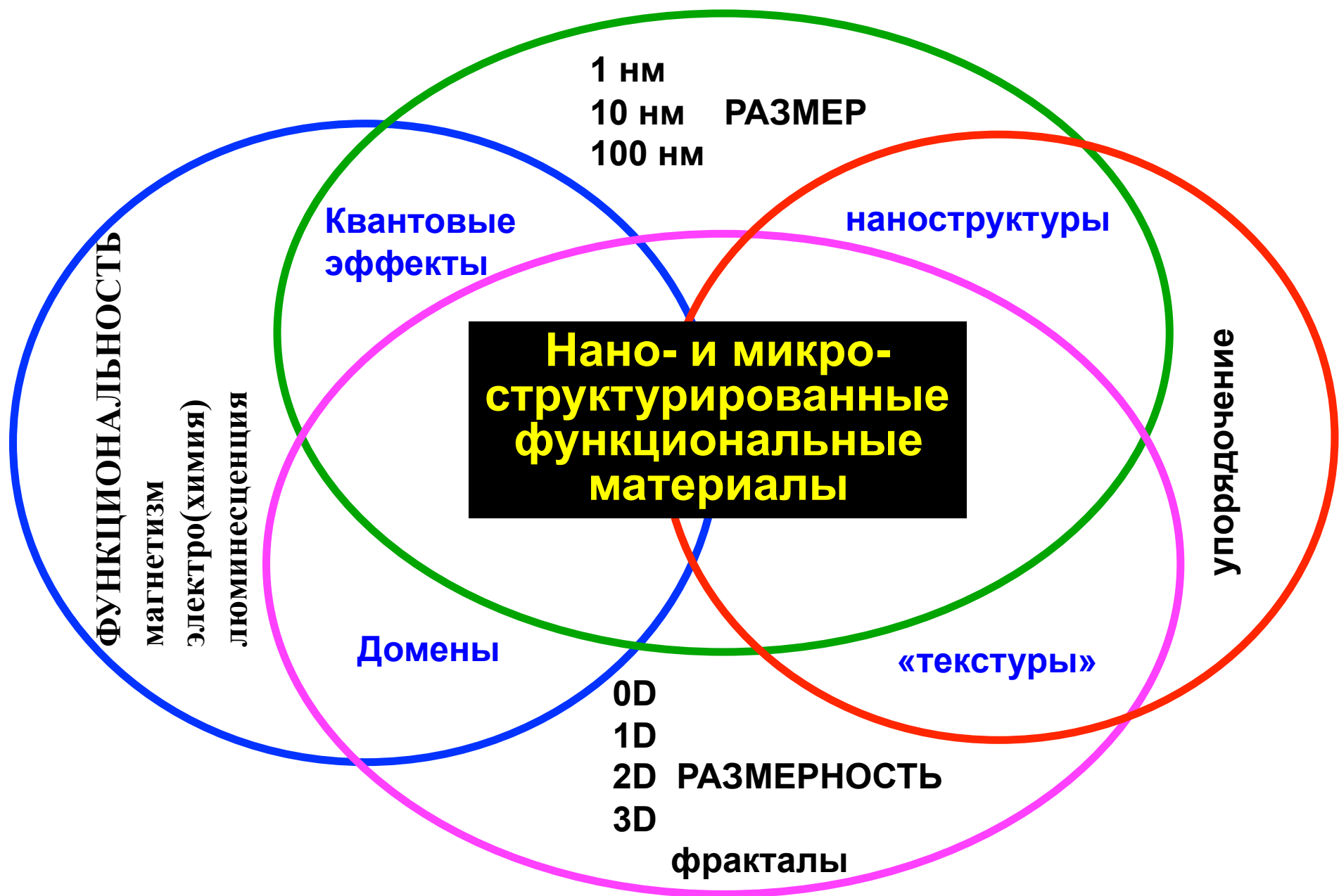
- **ВТСП (купраты)** – с 90х годов
  - расплавные технологии*
  - тонкие пленки*
- **КМС (манганиты)** – с «нулевых» годов
  - структура, свойства, фазовые диаграммы*
  - тонкие пленки*
- **Фотоника** – с «нулевых» годов
  - опаловые структуры*
  - инвертированные опалы*
- **Наноматериалы** – после 2005 года
  - слоистые двойные гидроксиды*
  - мезопористые системы*
  - углеродные наноматериалы*
  - неорганические нанотрубки*
  - аэрогели, ZnO, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>*
- **Биоматериалы** – после 2005 года
  - биокерамика*
  - диоксид церия*
  - медицинская диагностика*
- **Химические источники тока** – после 2010 года
  - катодные материалы*
  - литий – воздушные аккумуляторы*

**ФНМ**

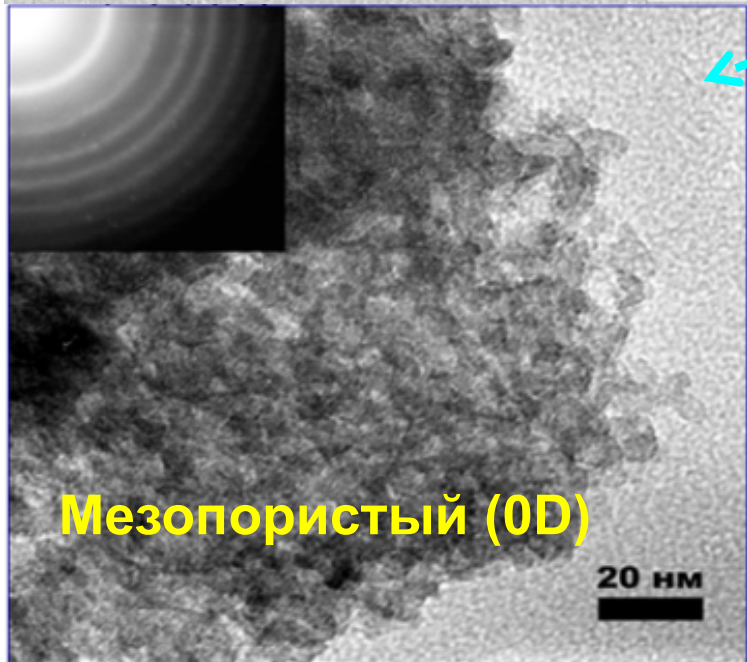
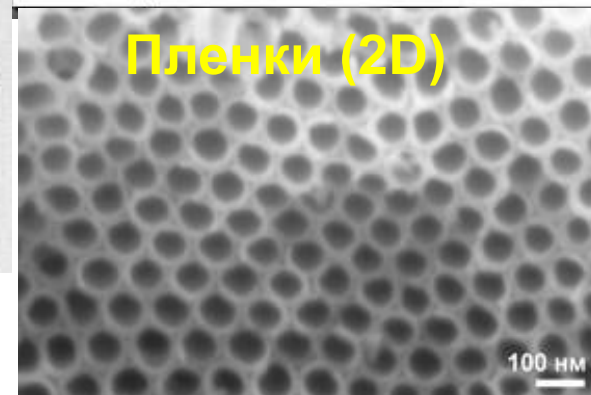
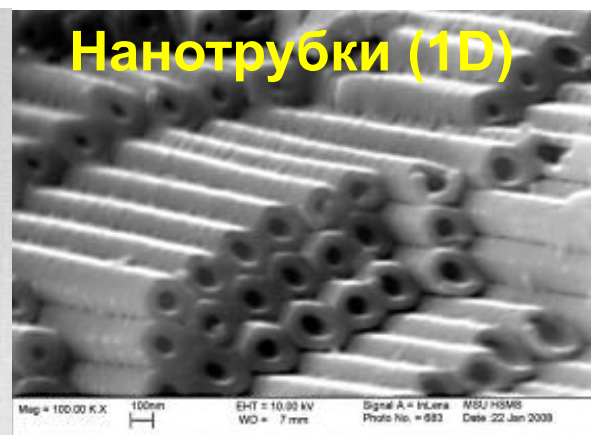
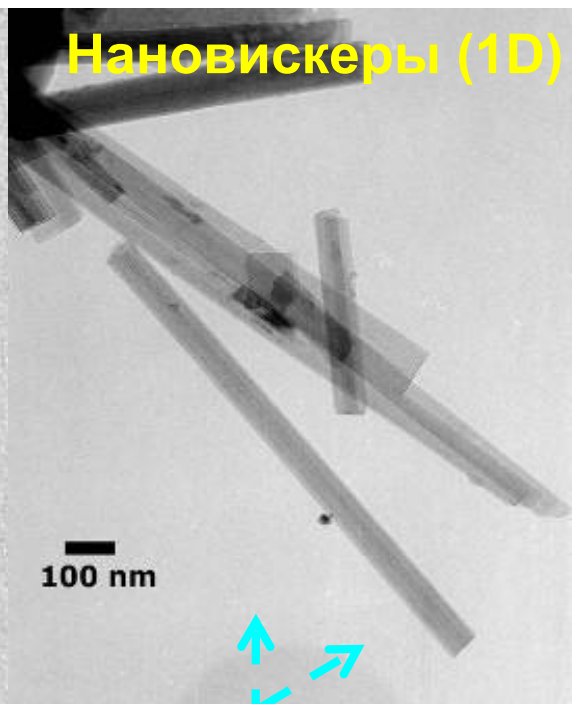
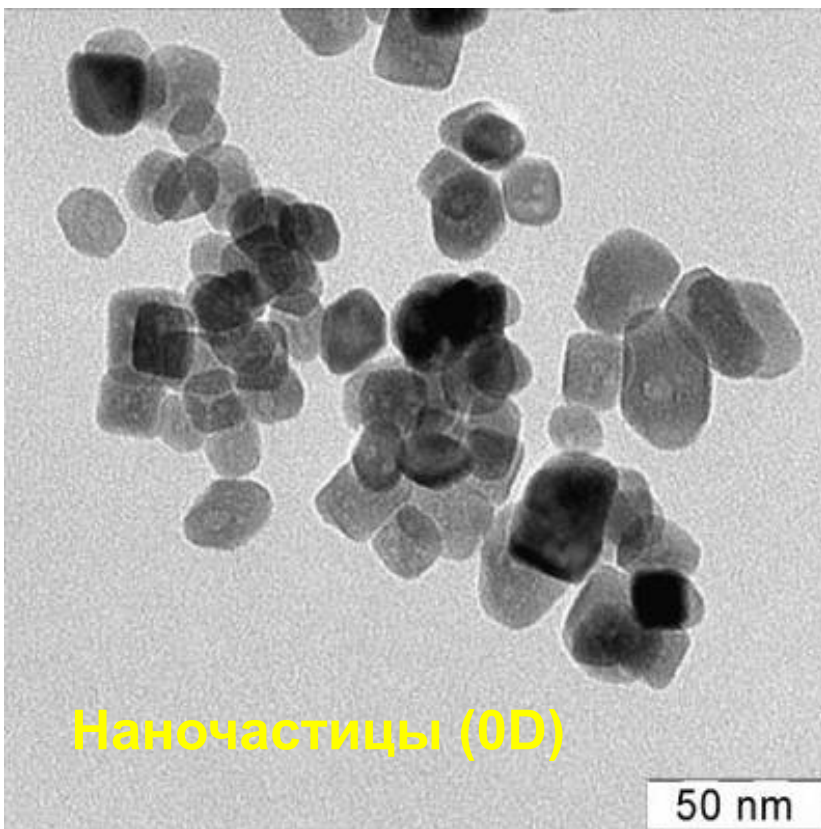
**ЛНМ х/ф**

**ИОНХ РАН**



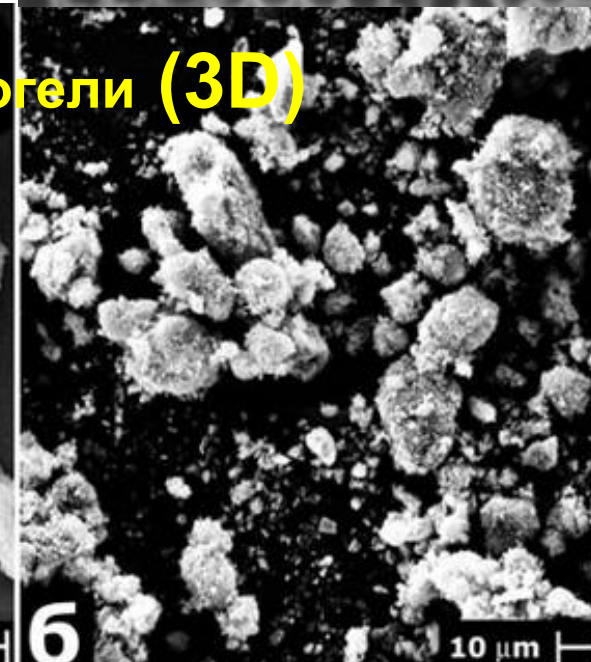
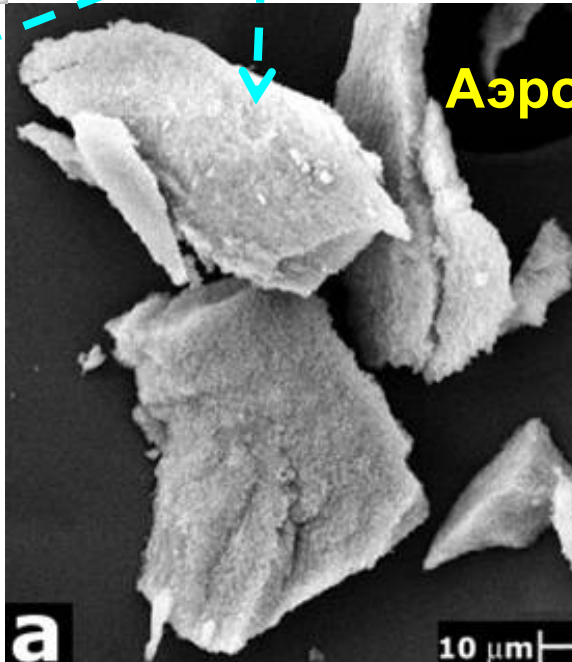


**«Наночуровень» структуры (1 - 100 нм) существует всегда, и если он предопределяет свойства материала, то говорят о наноматериале.**



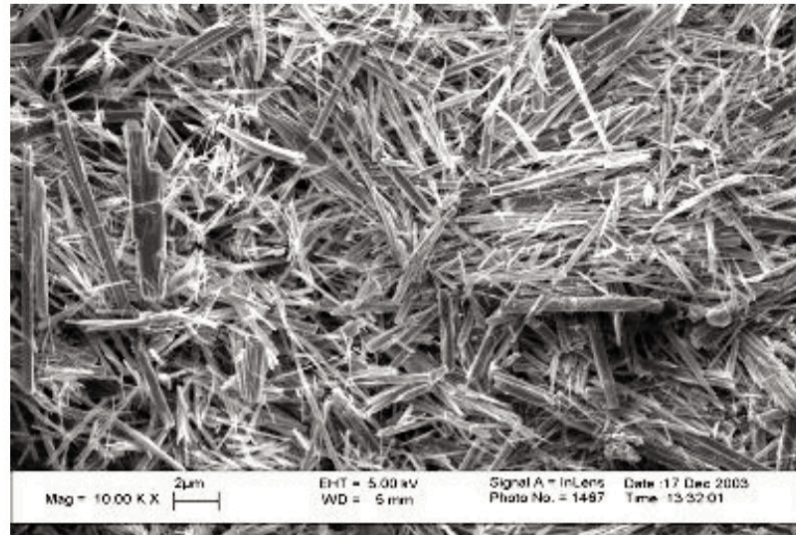
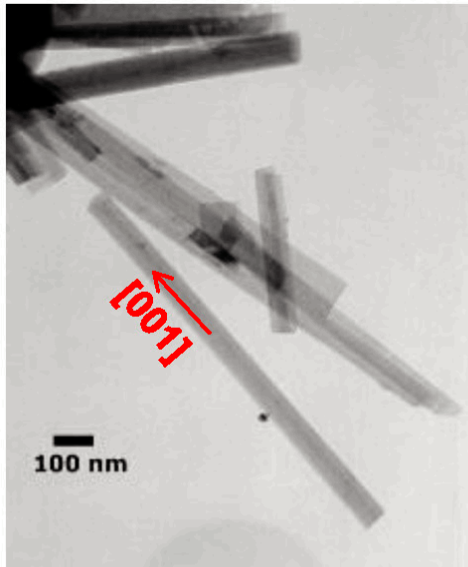
$\text{TiO}_2$

Four dashed cyan arrows point from the central  $\text{TiO}_2$  text to the four surrounding images: up to nanorods, right to nanotubes, left to nanoparticles, and down to mesoporous TiO2.





# Гидротермальна́я обработка

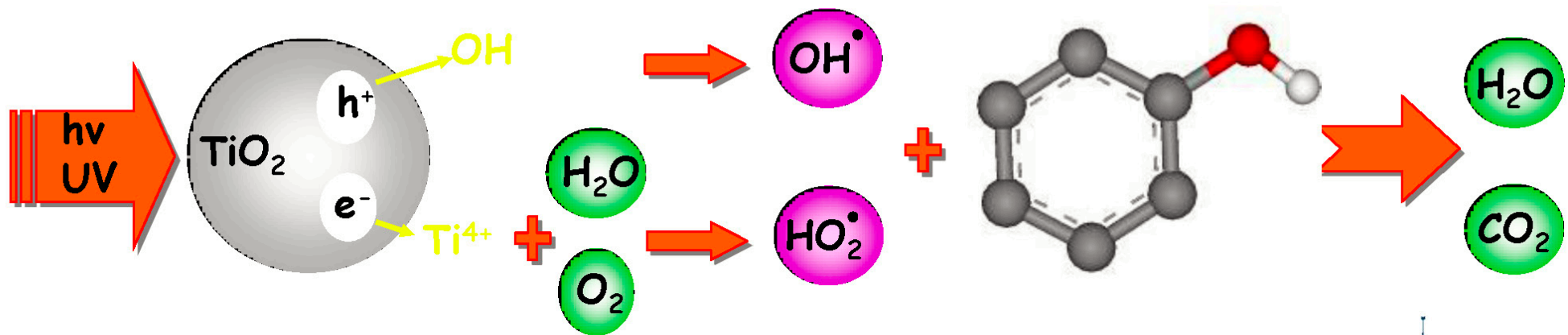


TiO<sub>2</sub>,

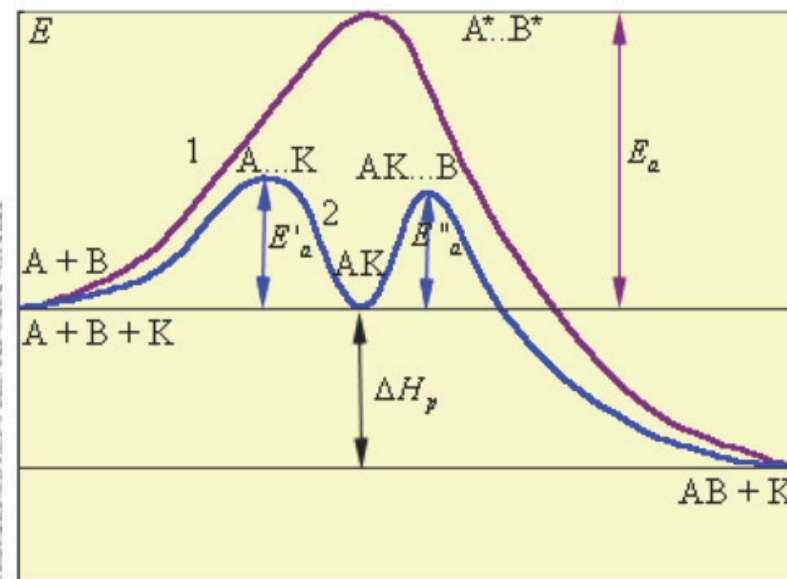
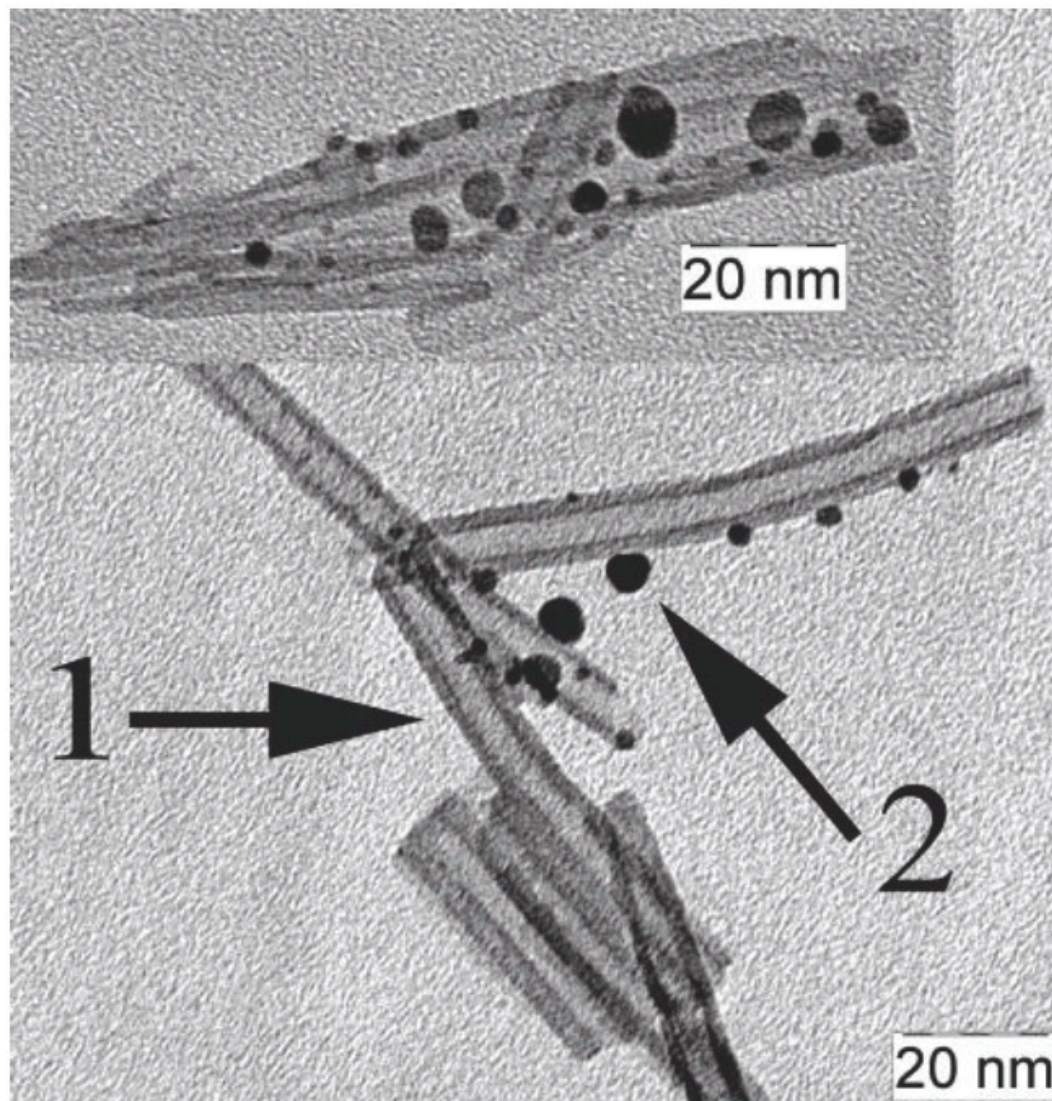
контроль pH

вода

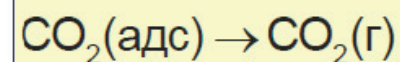
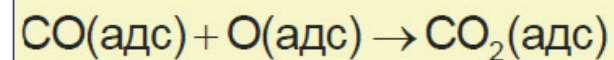
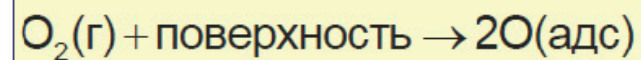
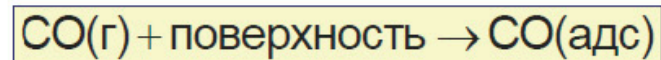
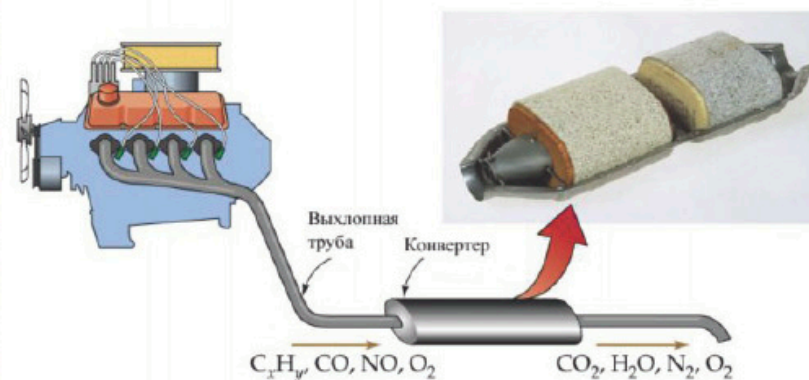
150-250°C



# Нанотрубки



Координата реакции





# Функциональные наноматериалы



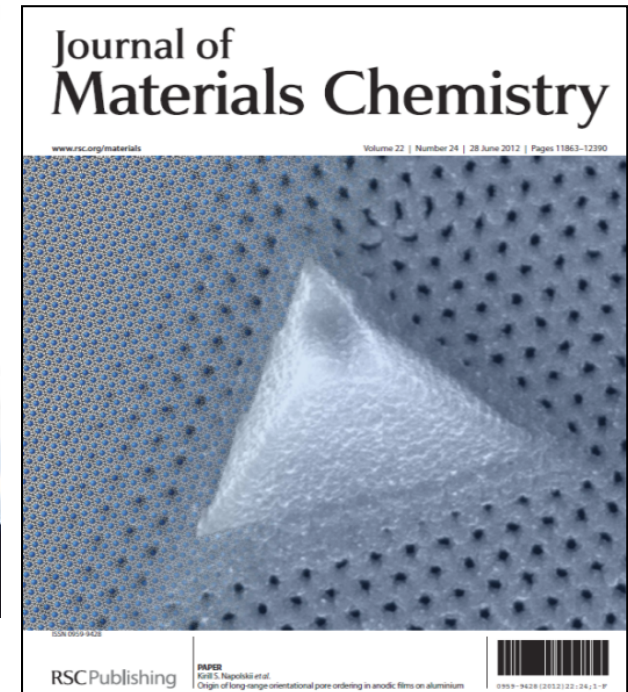
*Член – корр.,  
д.х.н. А.В.Лукашин*



*Доц., к.х.н.  
А.А.Елизеев*

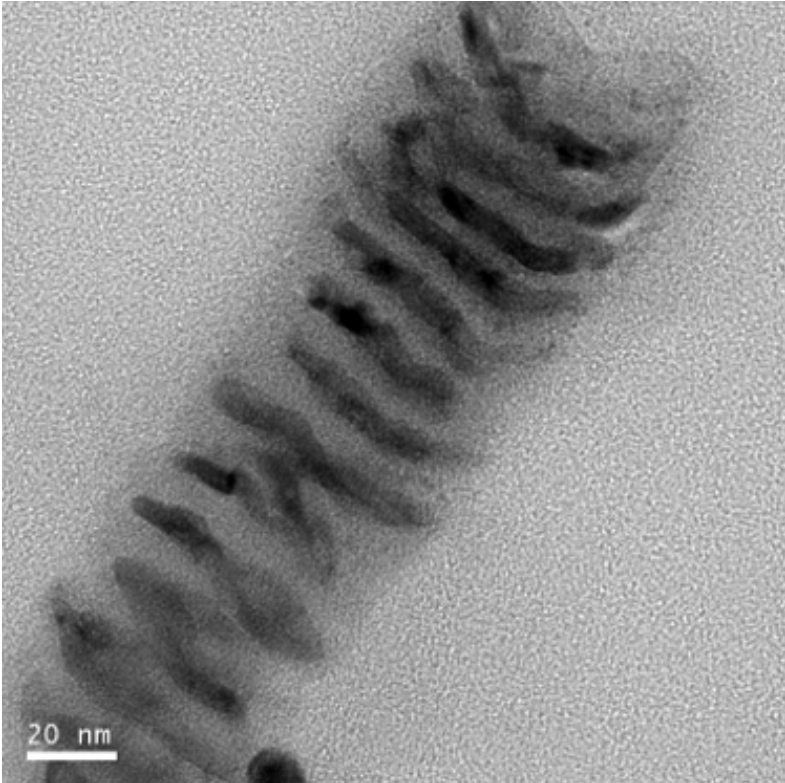
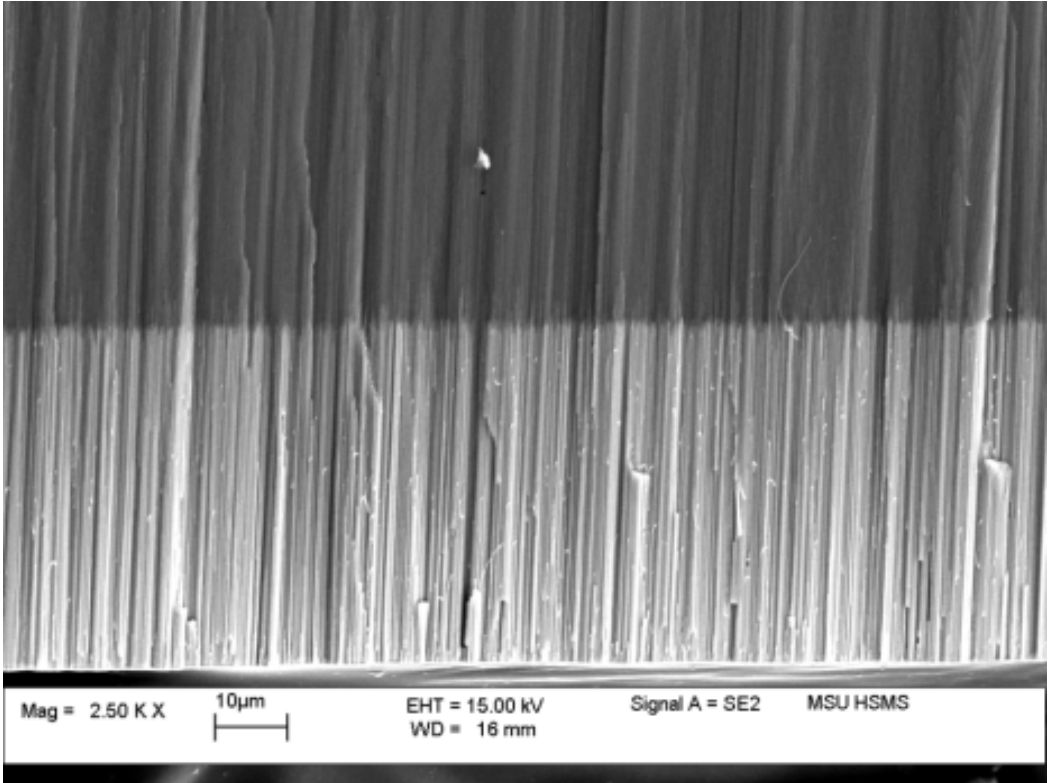
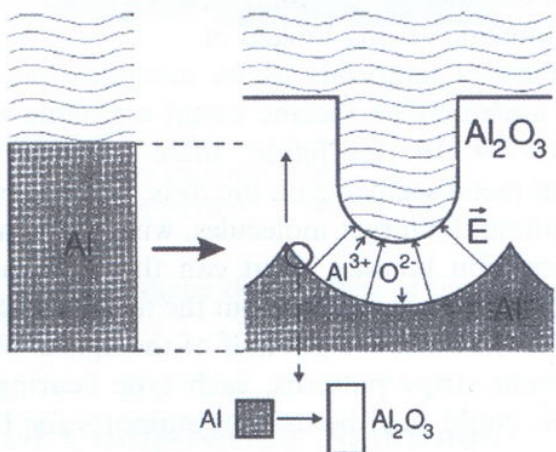
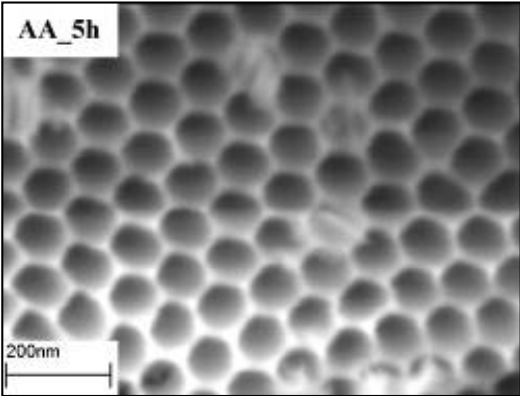
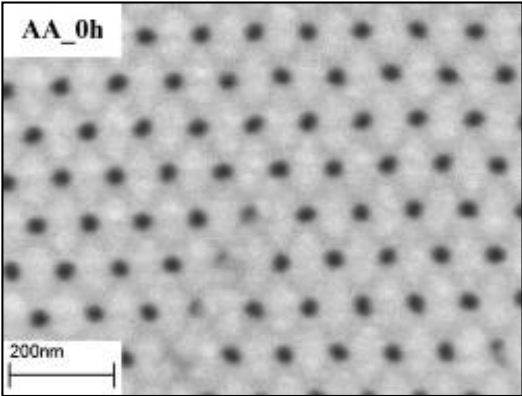


*В.н.с., к.х.н.  
К.С.Напольский*



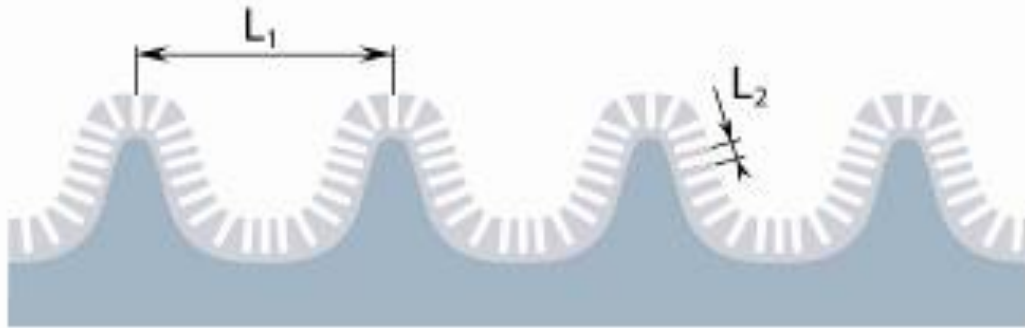
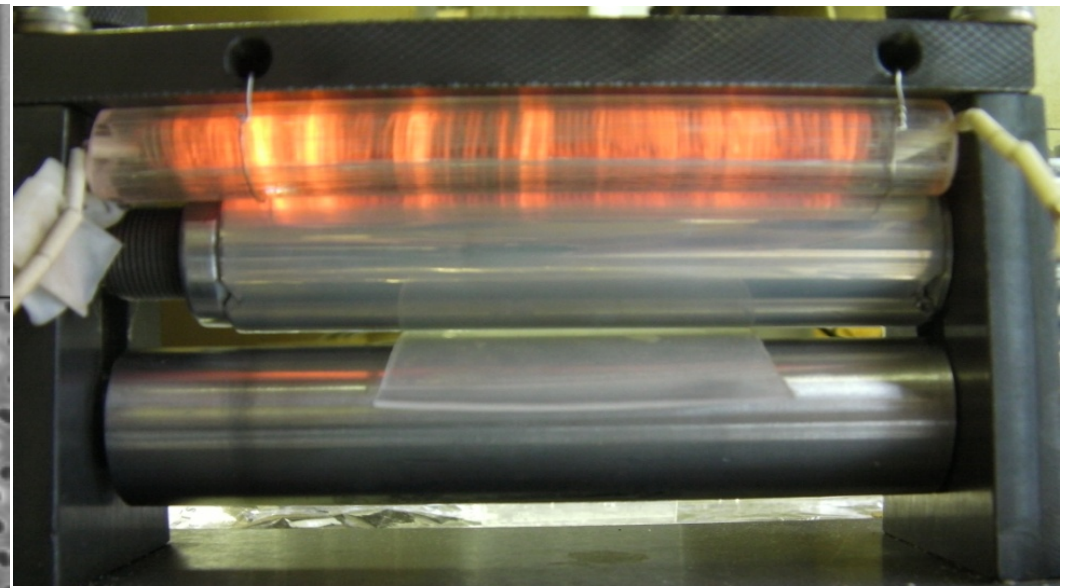
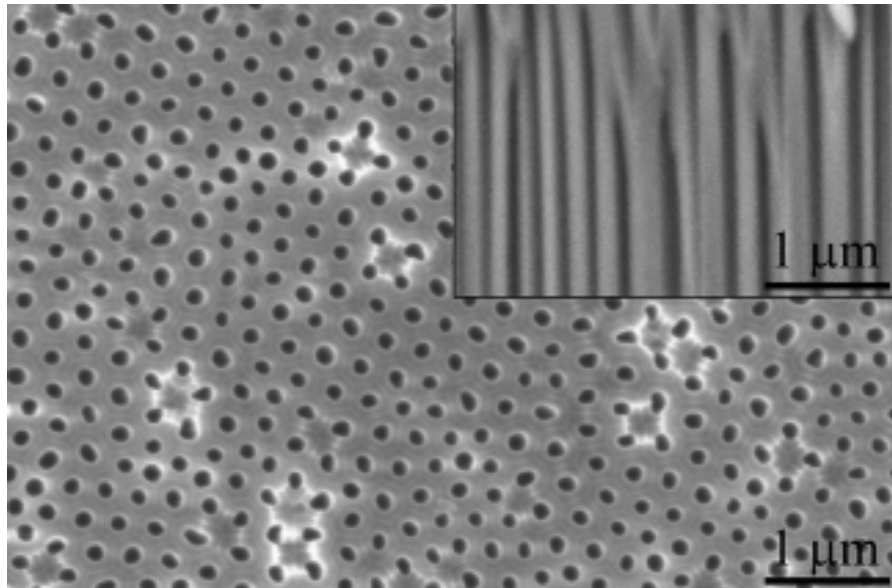
- разработка неорганических и гибридных мембран для фракционирования газообразных и жидких сред,
- получение одномерных наноструктур на основе нанонитей и углеродных нанотрубок для элементов наноэлектроники,
- разработка планарных газовых сенсоров,
- синтез высокоэффективных катализаторов,
- создание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

# Нанокompозиты

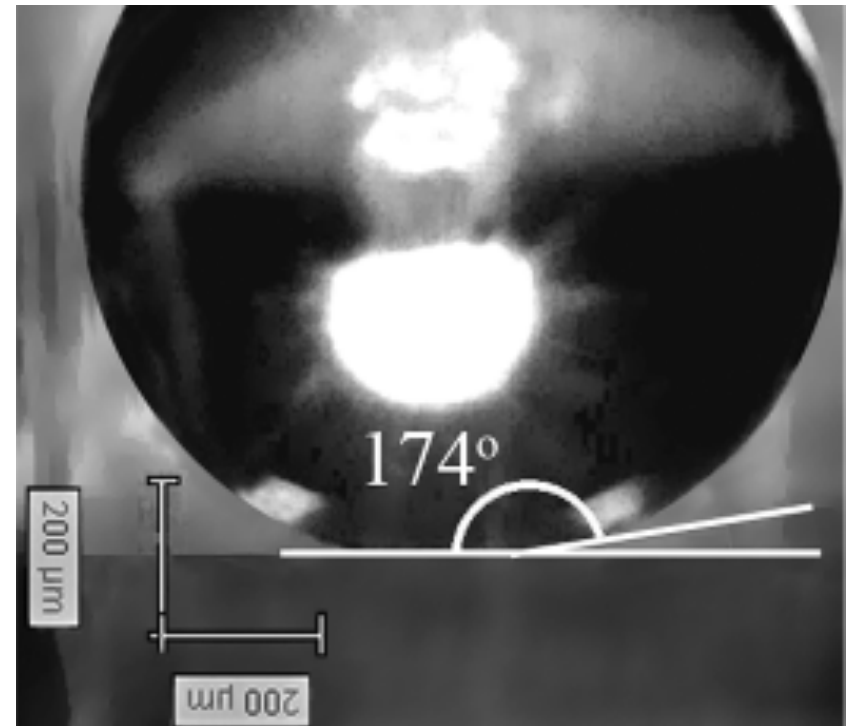




# Мембраны пористого оксида алюминия



Микрошероховатости  $L_1=5-10$  мкм  
Расстояние между порами  $L_2= 300-500$  нм, диаметр пор 100-250 нм  
+разделение нефтепродуктов  
+опреснение воды  
+термокаталитические сенсоры

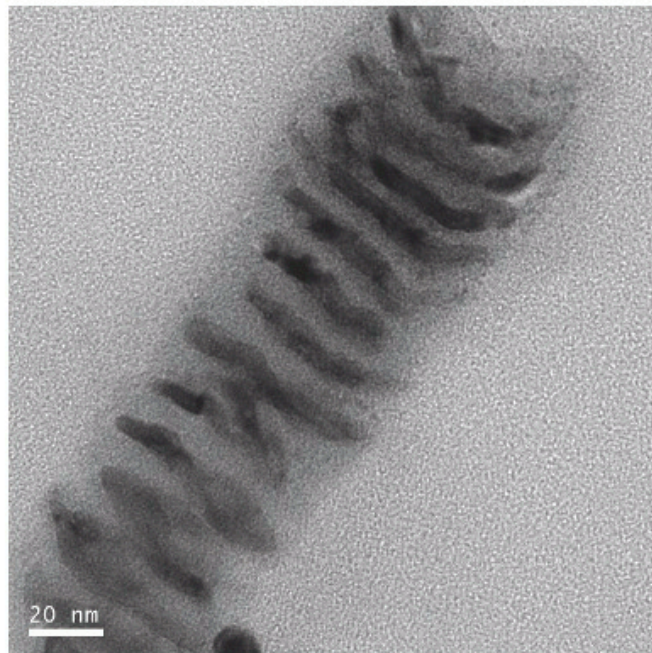




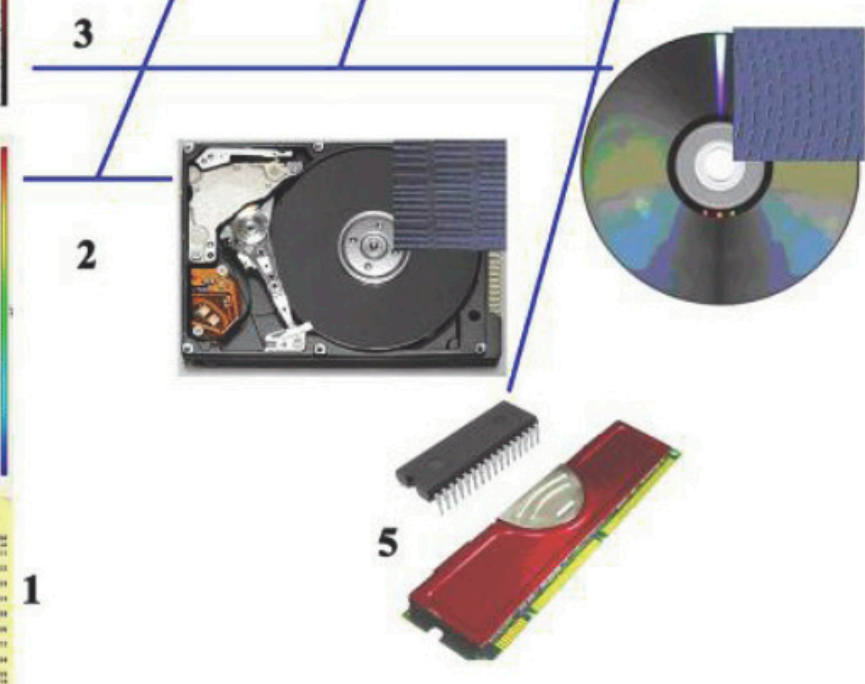
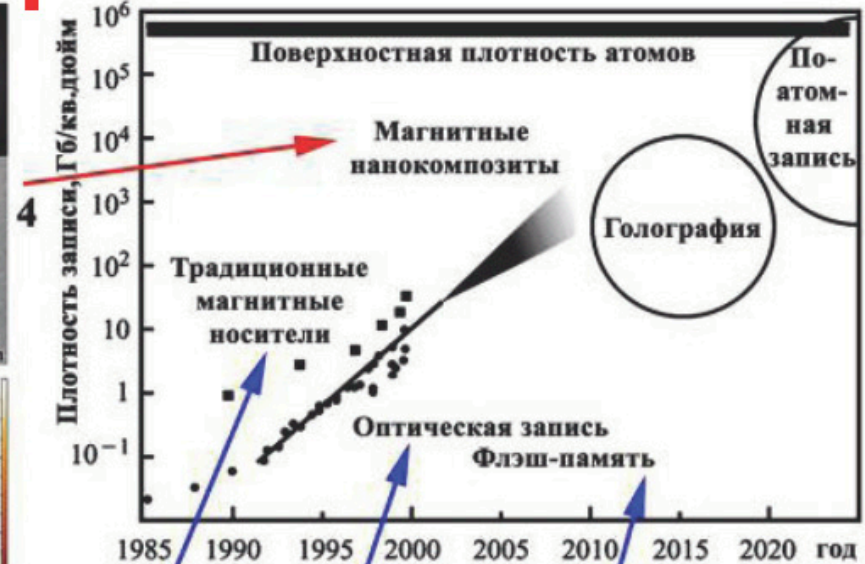
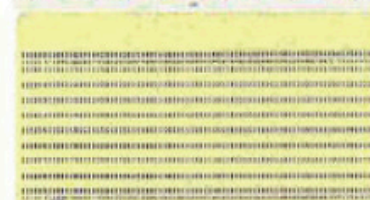
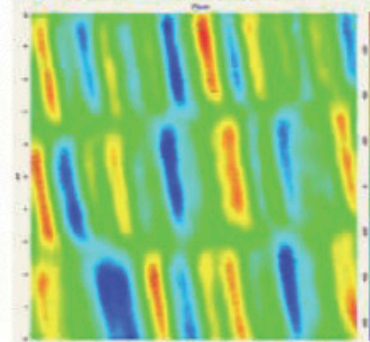
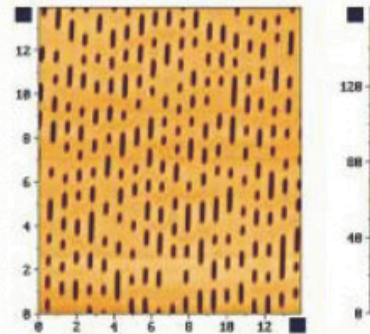
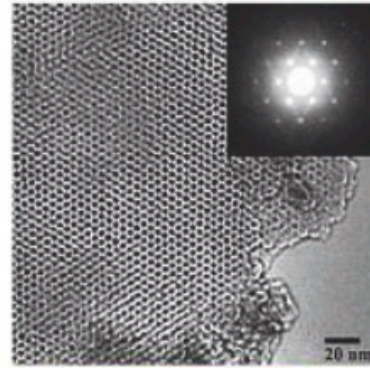
# Информационные технологии и наноэлектроника

Нанопроволока Fe в мезопористом SiO<sub>2</sub>

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



Композитная магнитная нанопроволока (электроосаждение в порах анодированного алюминия)





(импакт-фактор в 2016 г. – 38.9)

# Layered memristive and memcapacitive switches for printable electronics

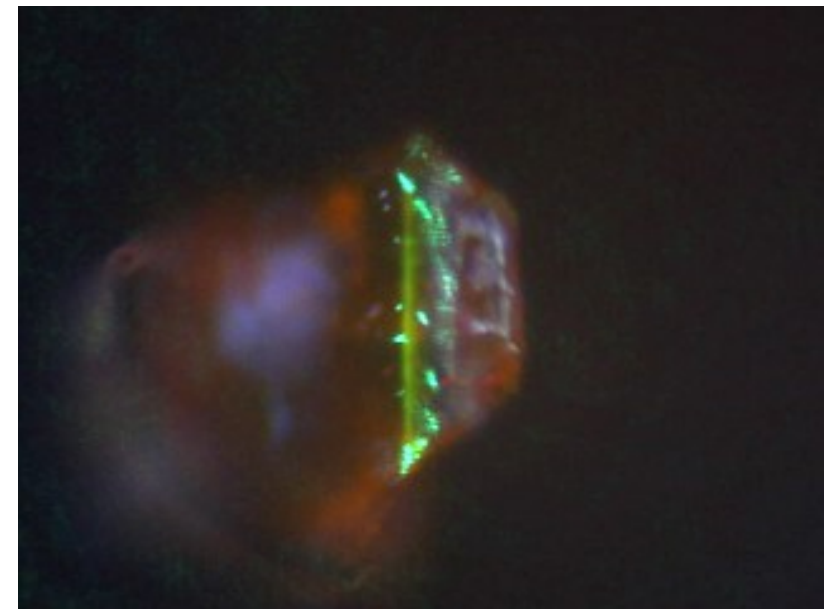
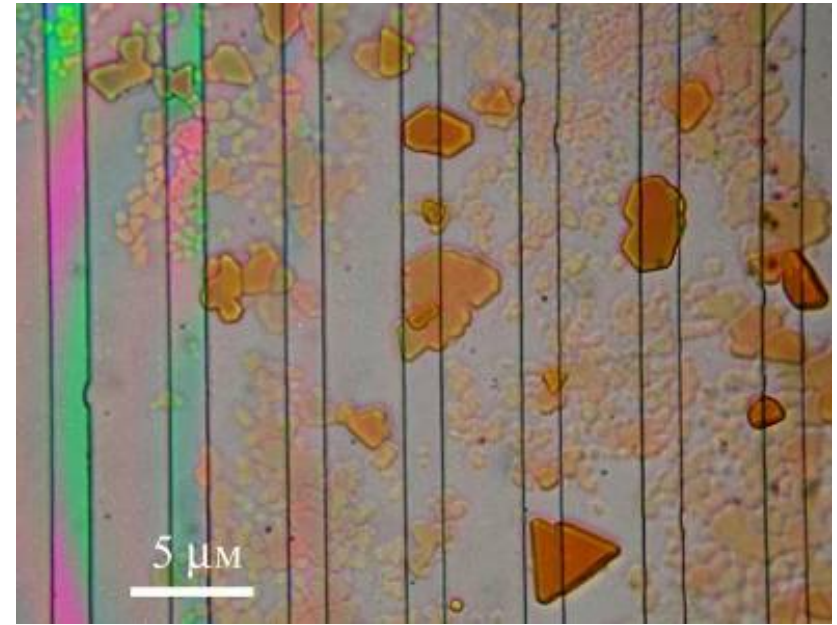
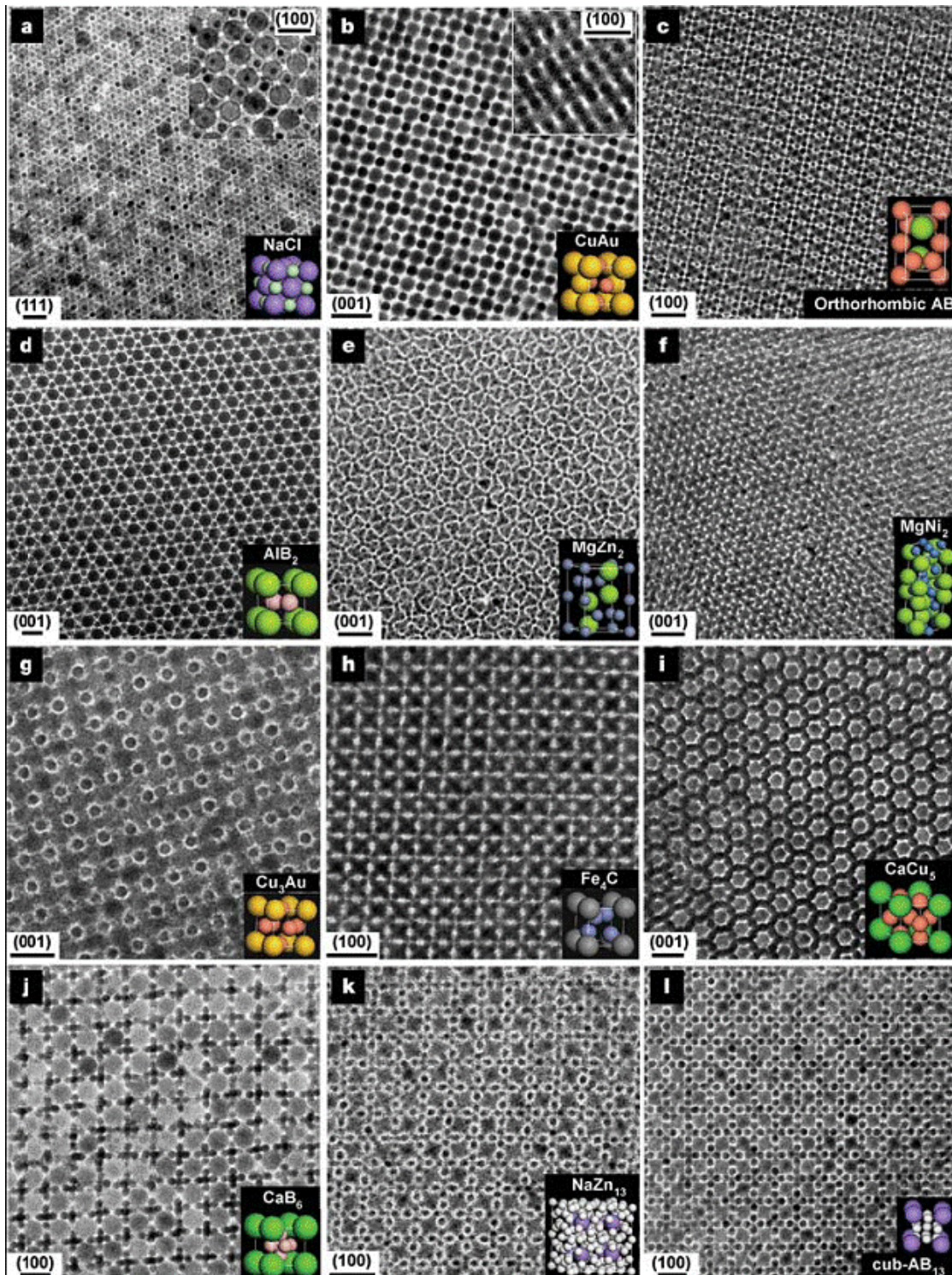
Alexander A. Bessonov<sup>1\*</sup>, Marina N. Kirikova<sup>1</sup>, Dmitrii I. Petukhov<sup>1,2</sup>, Mark Allen<sup>3</sup>, Tapani Ryhänen<sup>3</sup> and Marc J. A. Bailey<sup>1</sup>

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).





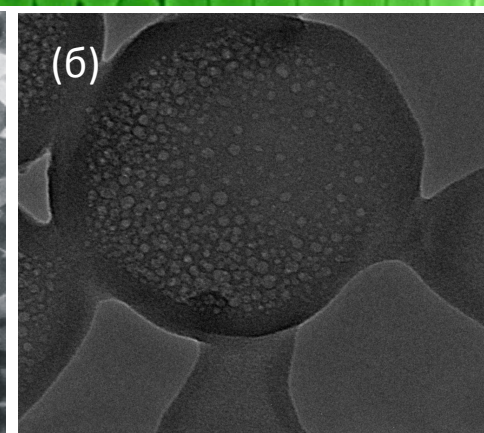
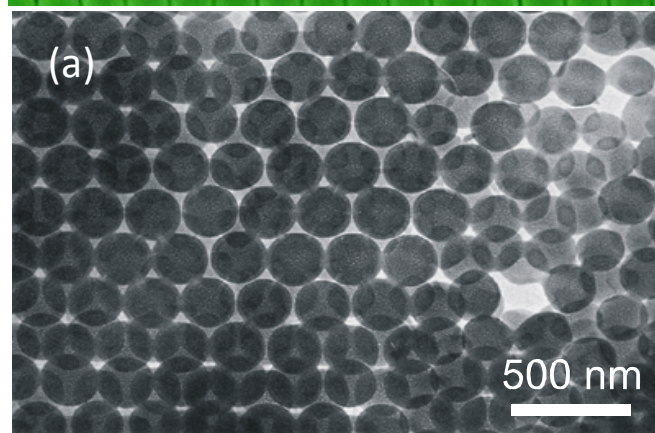
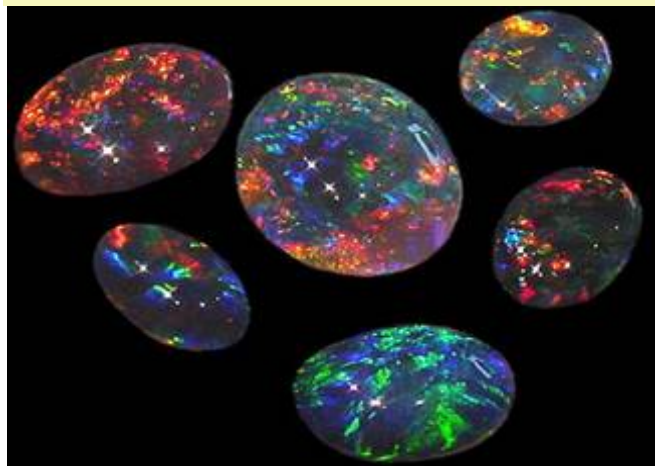
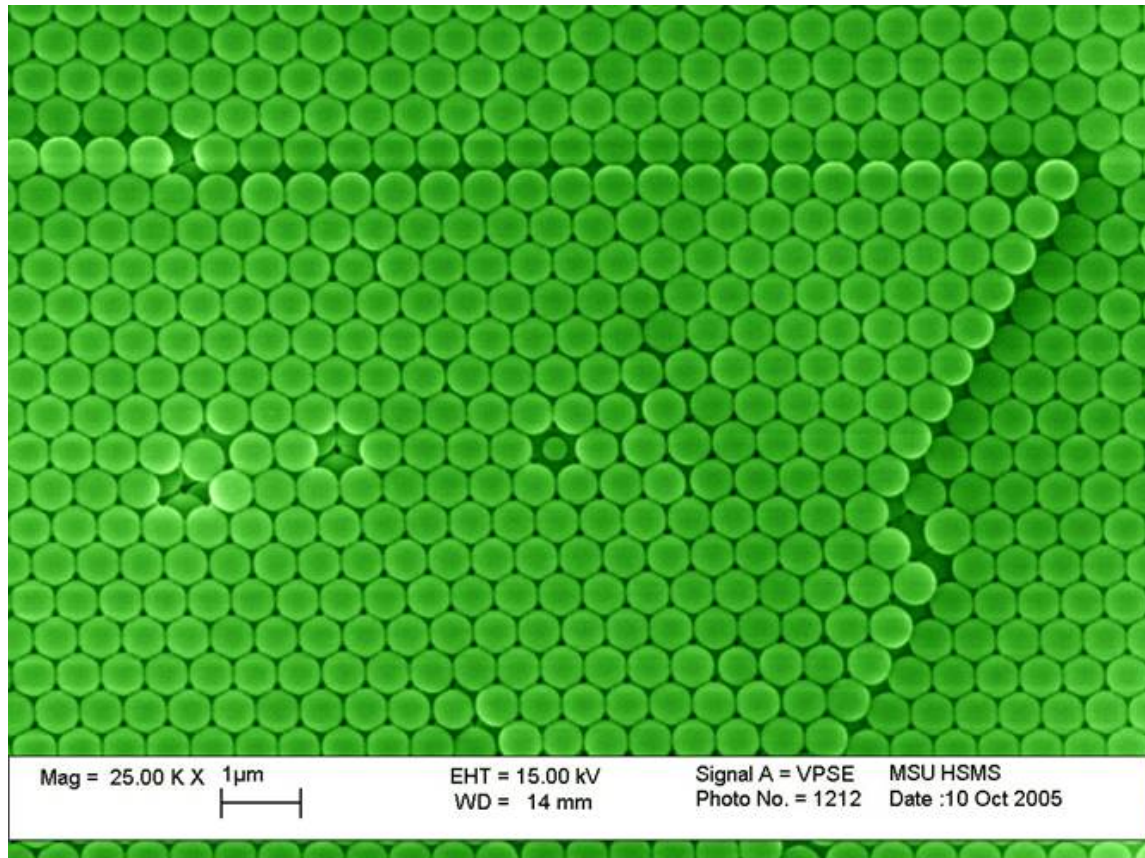
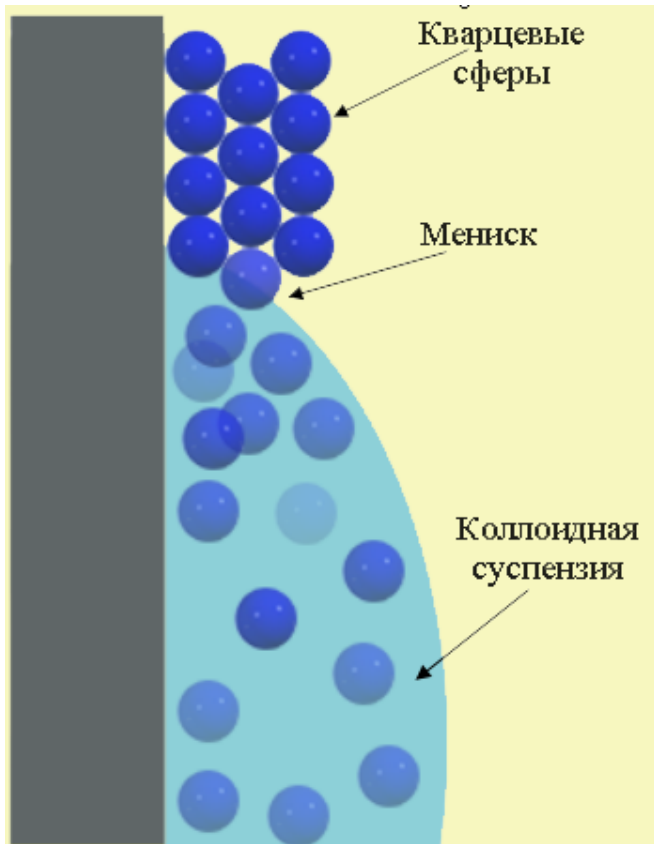
## Самосборка наноструктур



Коллоидный кристалл из квантовых точек (ФНМ МГУ)

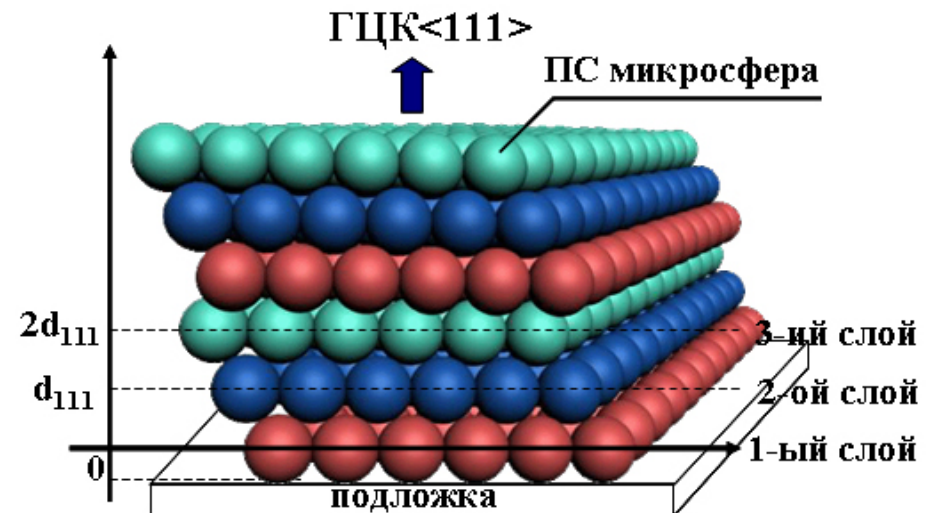
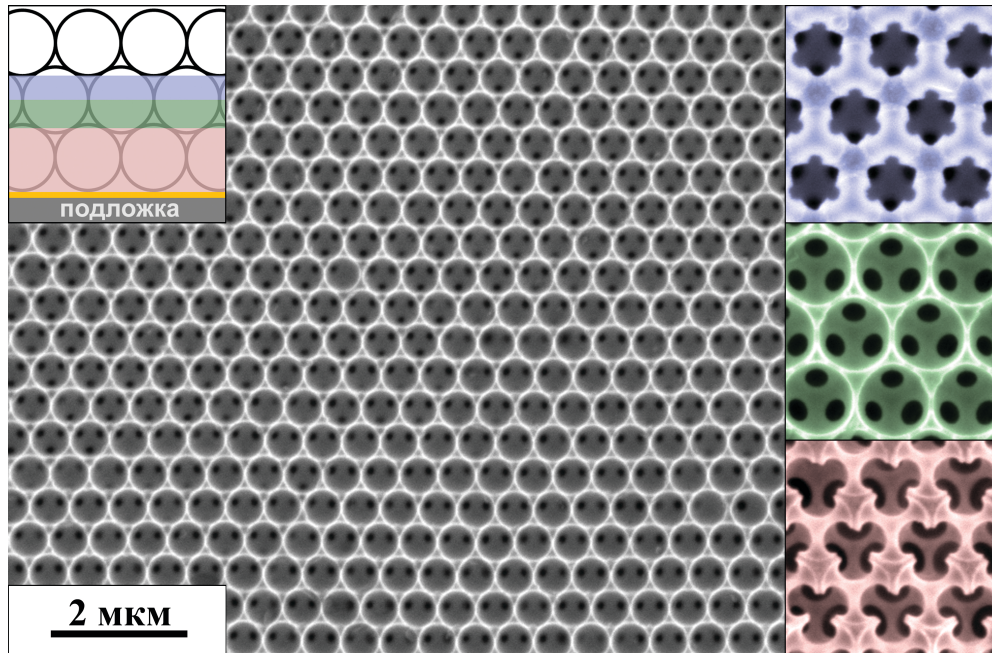
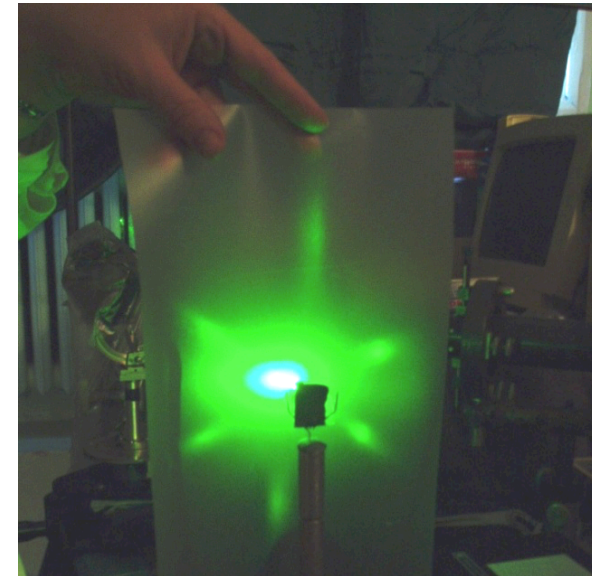
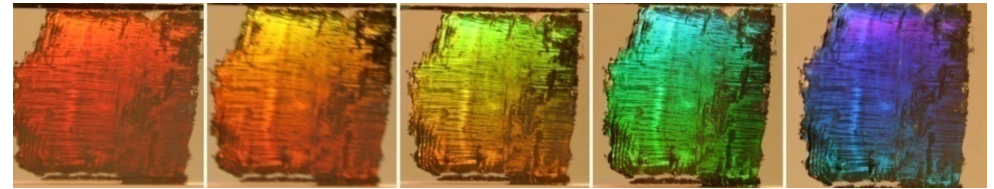
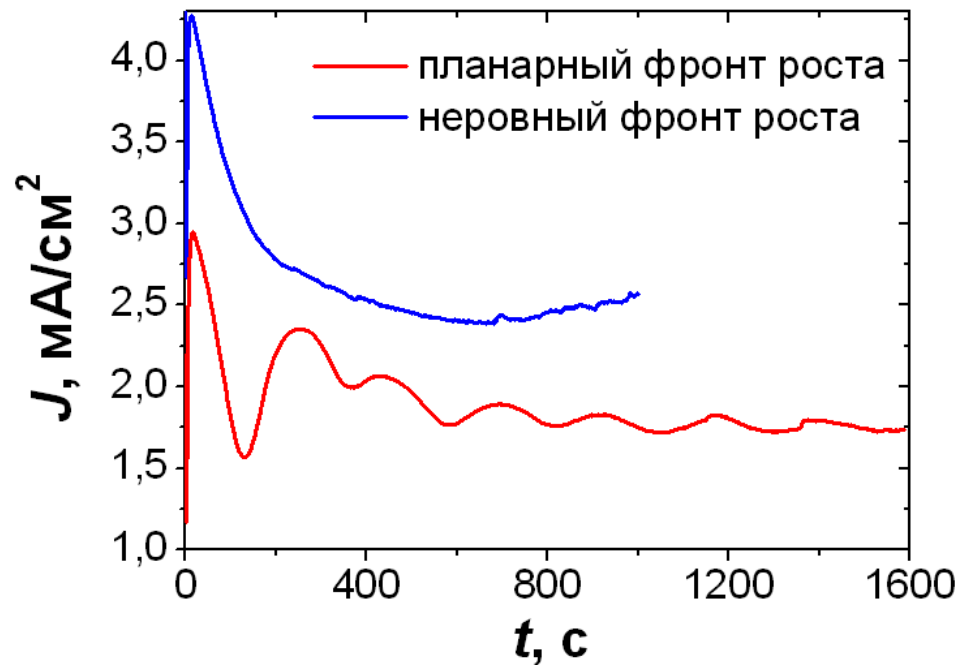


# Фотонный кристалл





# Фотоника



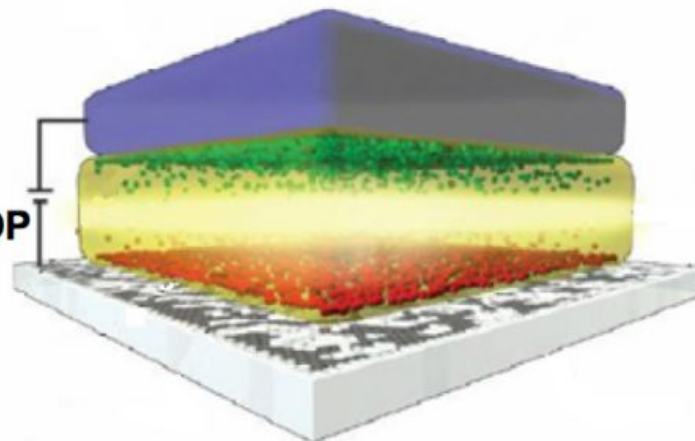


# Строение органического светодиода

=3=



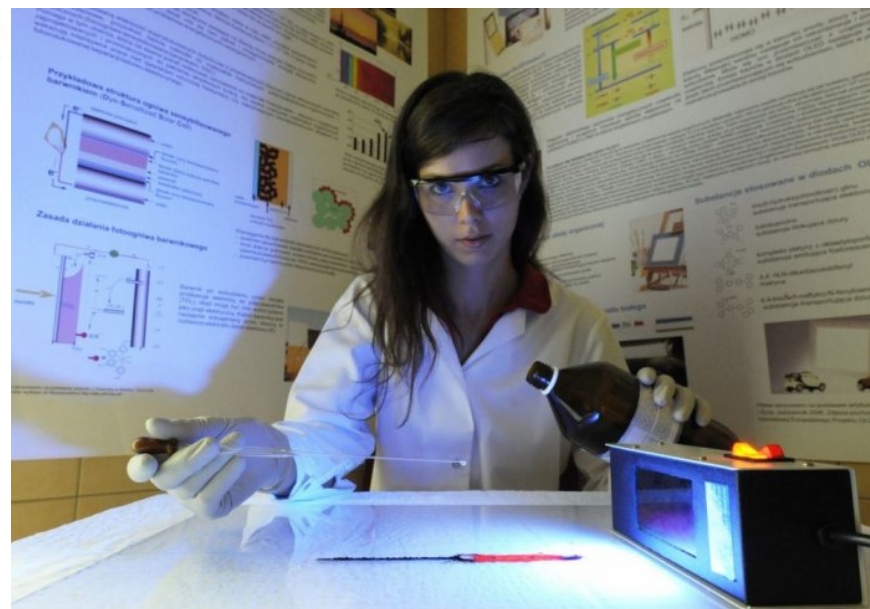
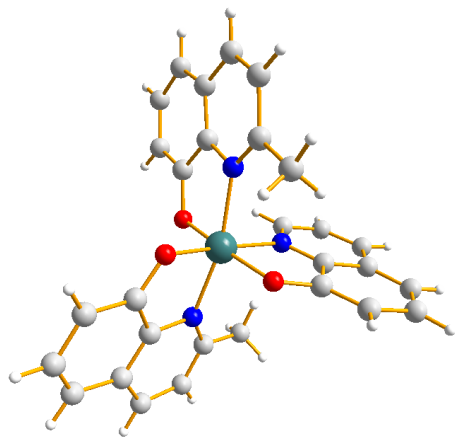
Катод  
ETL  
ЛЮМИНОФОР  
HTL  
Анод



**ETL – электронпроводящий слой**

**HTL – дыркопроводящий слой**

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



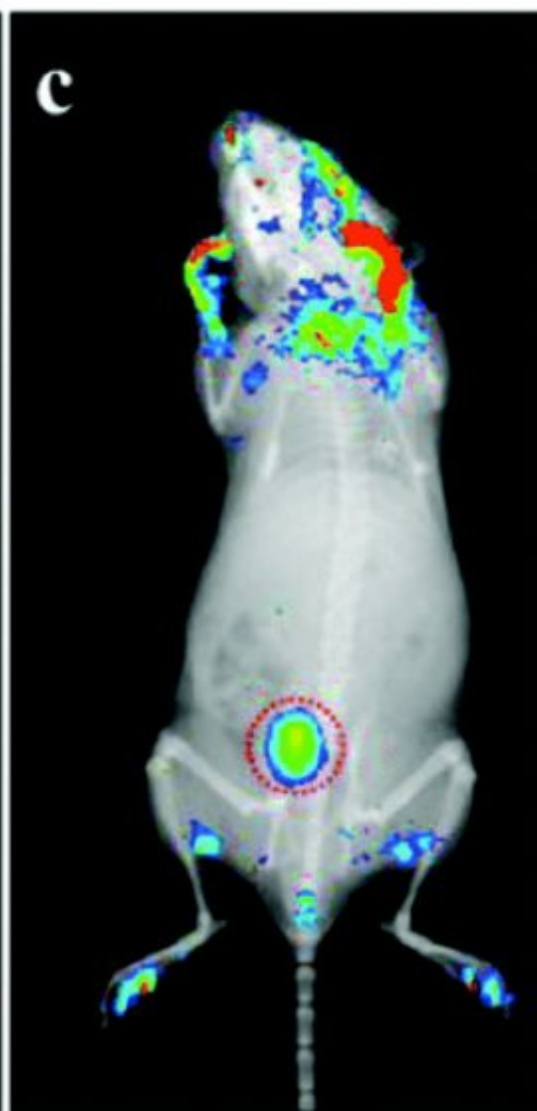
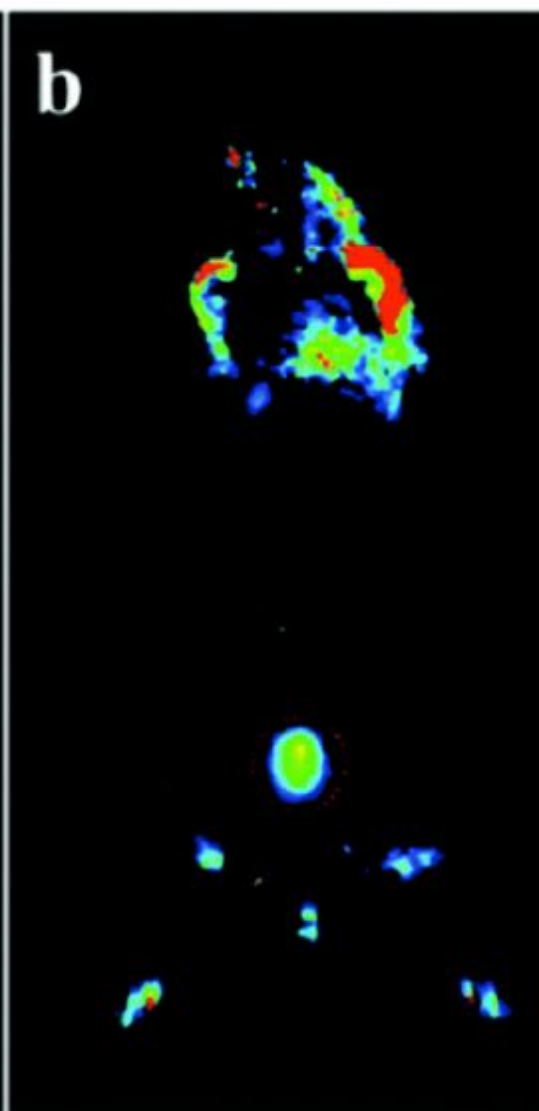
# Биовизуализация



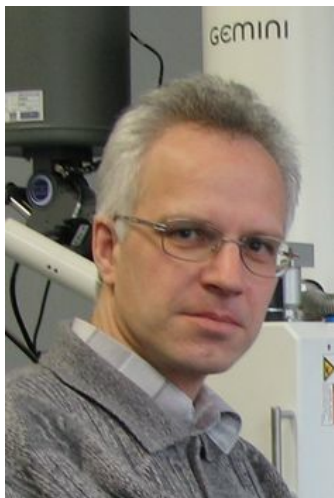
микроскоп

люм. микроскоп

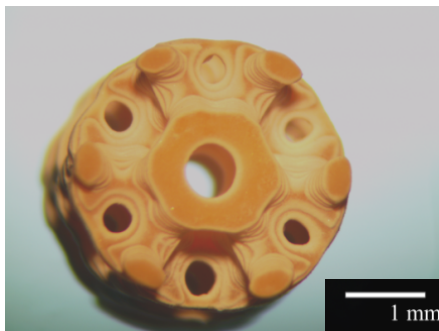
наложение







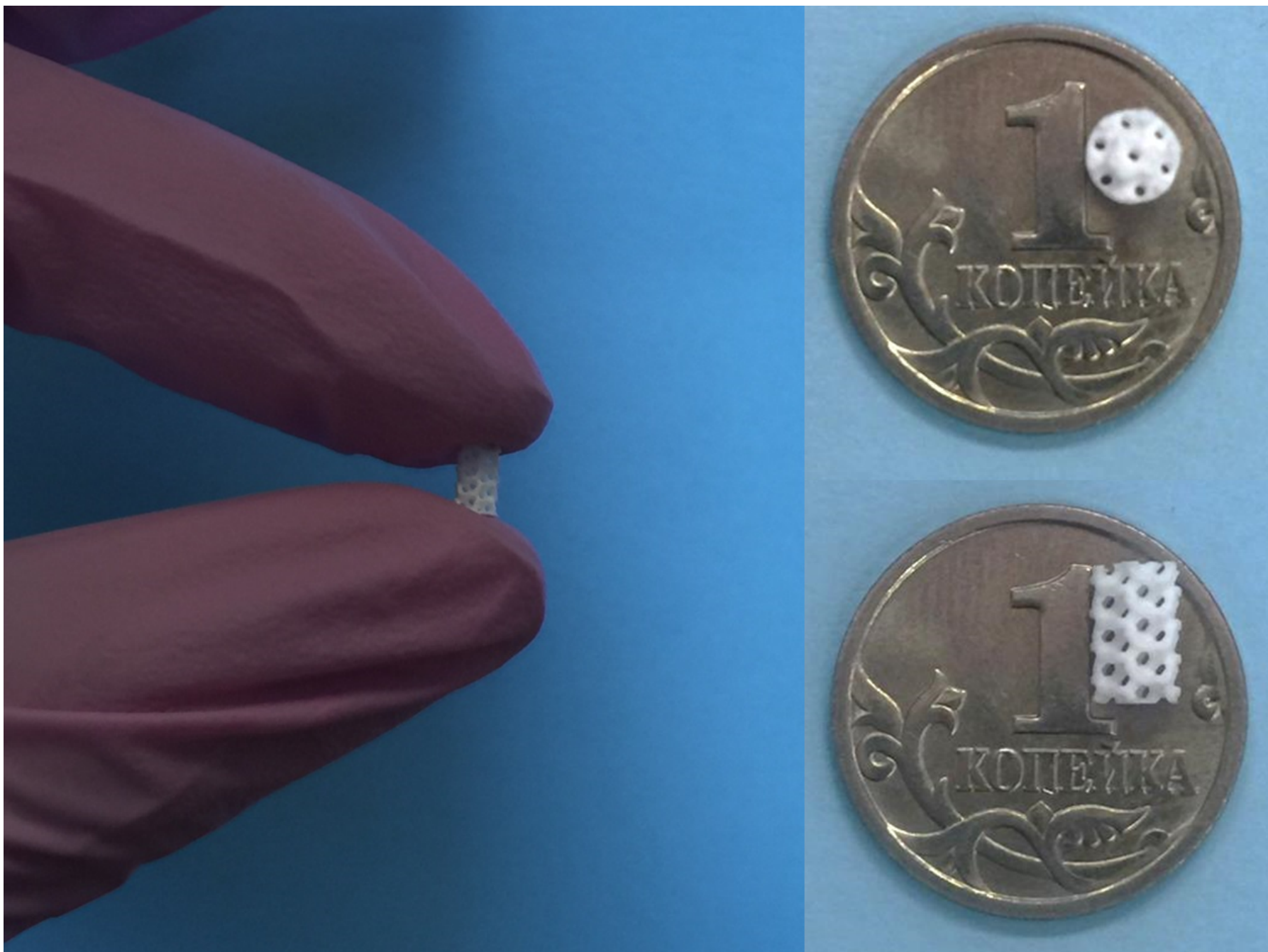
Доц., к.х.н.  
В.И.Путляев и др.



# 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.

# 3D-печать остеокондуктивной биокерамики

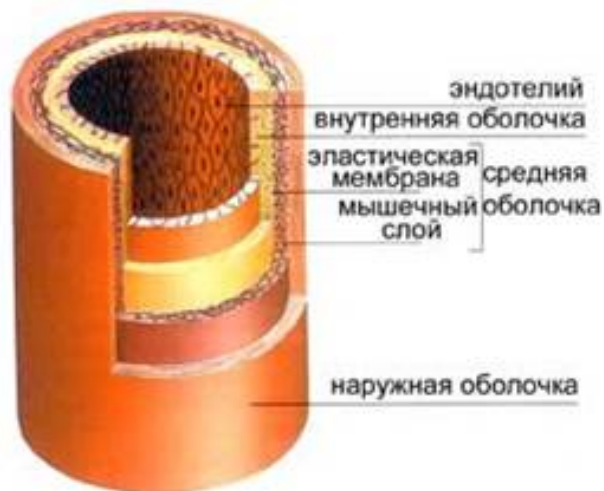




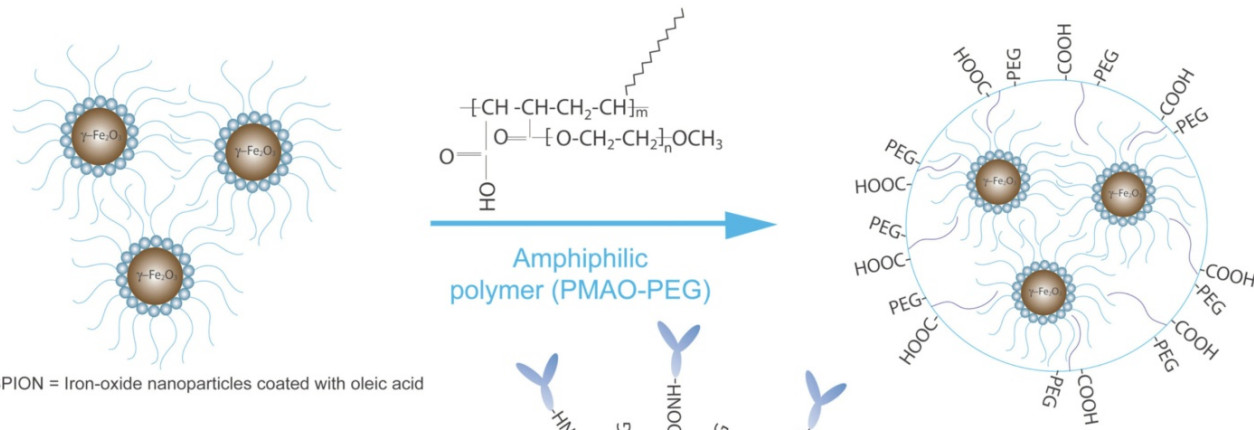
# «Нанобио»



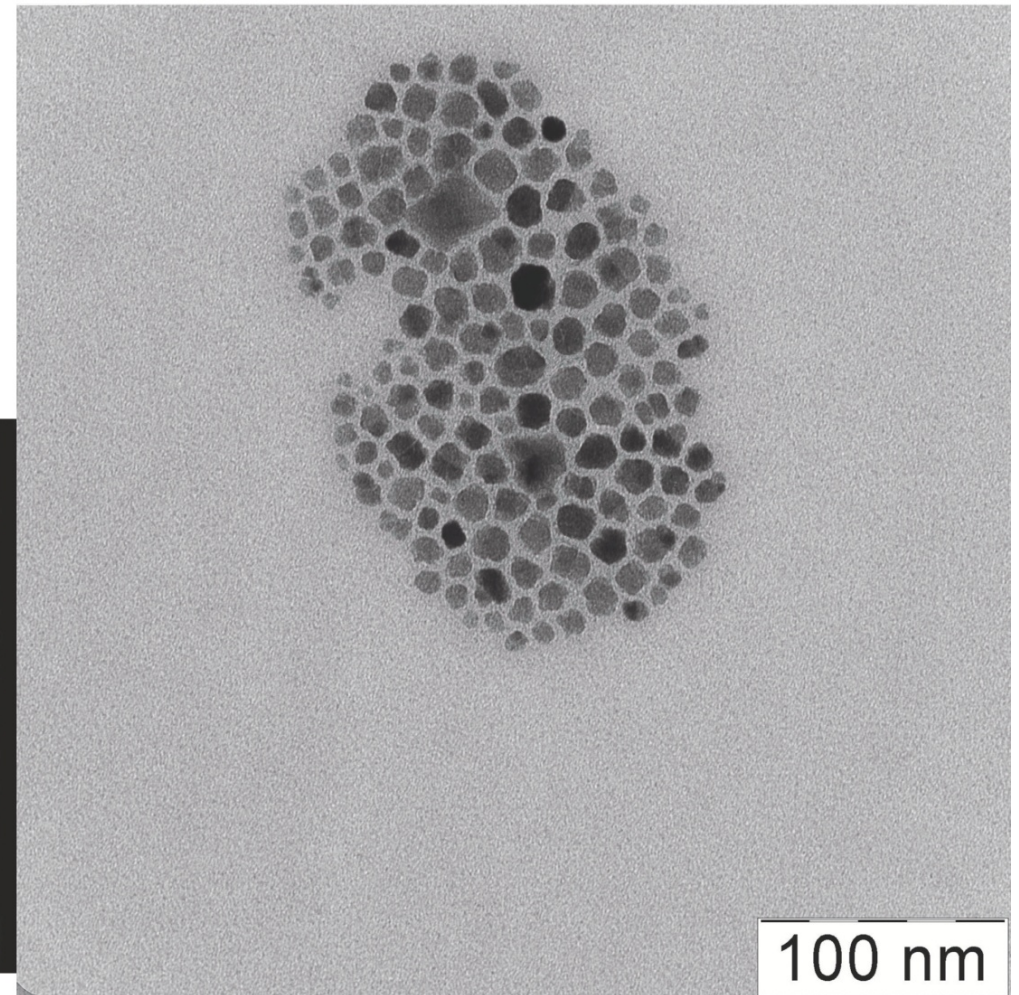
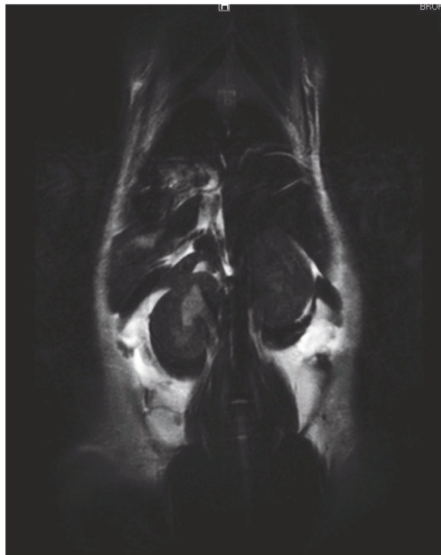
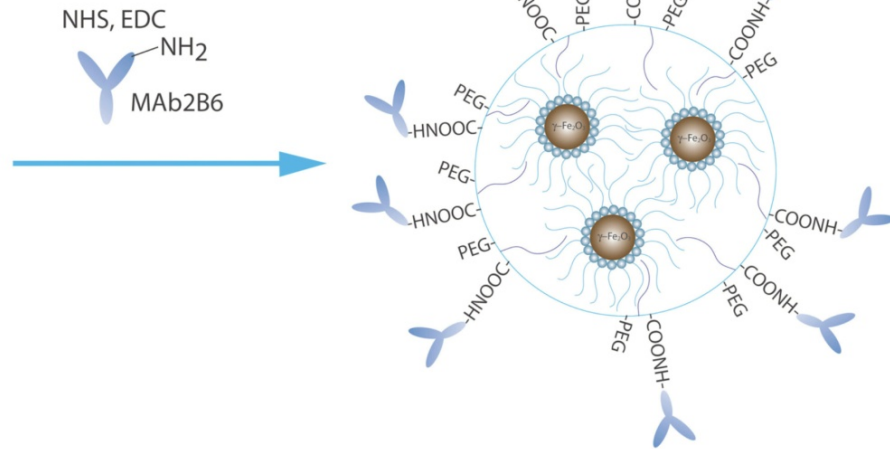
- Малый размер
  - ⇒ могут проникать в капилляры, ткани и клетки
- Развитая поверхность
  - ⇒ «контейнеры» для биологически активных в-в
  - ⇒ частицы неорганических материалов можно сделать нетоксичными
  - ⇒ свойства частиц зависят от состояния поверхности
- Необычные для свойства – магнитные и оптические



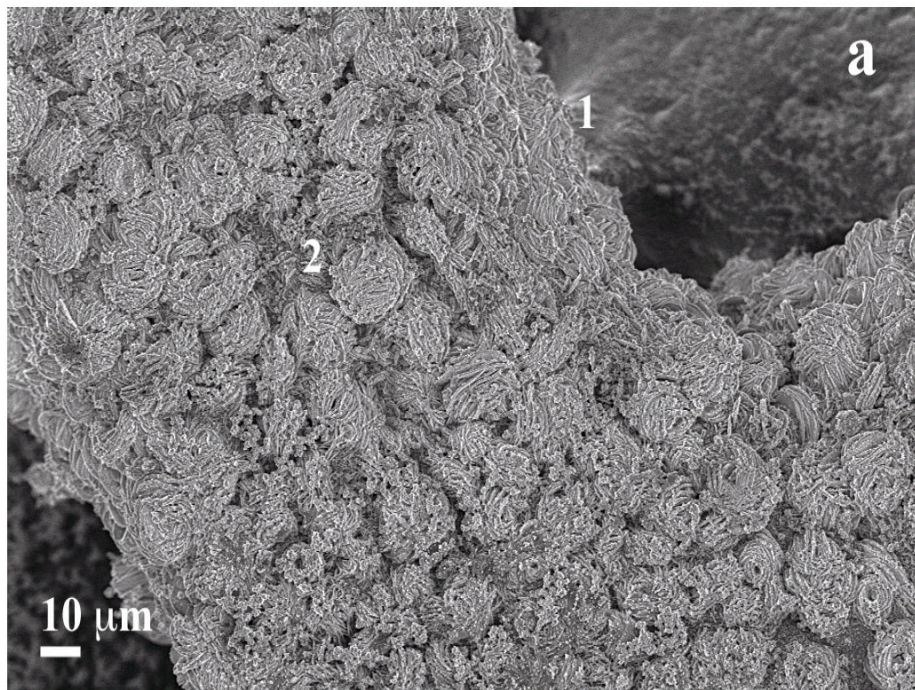
Создание новых биосовместимых наноматериалов с нетоксичной защитной оболочкой для медицинской диагностики, программируемой доставки лекарств и лечения онкологических заболеваний.



SPION = Iron-oxide nanoparticles coated with oleic acid



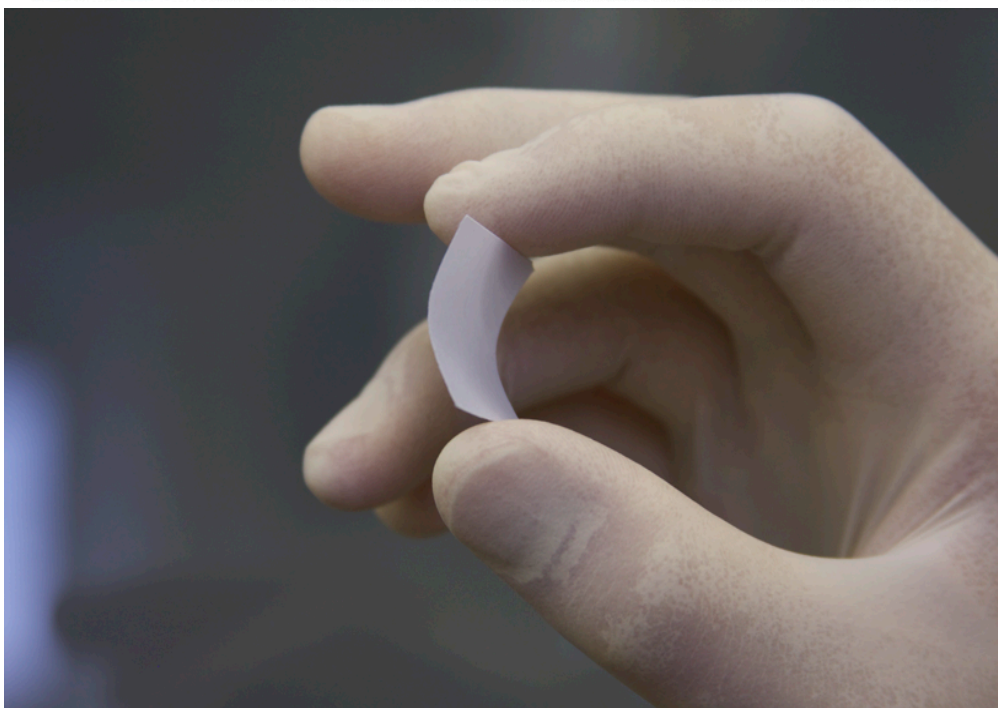
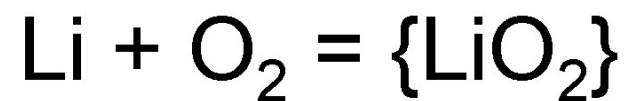




Горение на воздухе  
 $4\text{Li} + \text{O}_2 = 2 \text{Li}_2\text{O}$



Литий – воздушный  
аккумулятор:

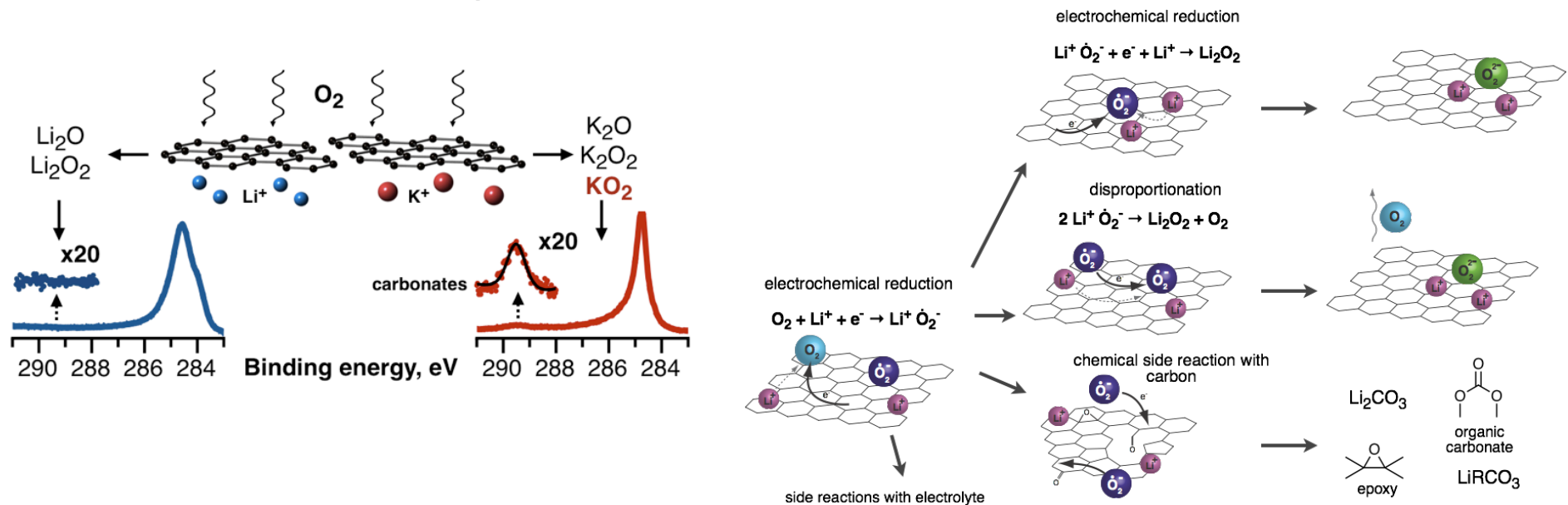


# Электрохимическая энергетика



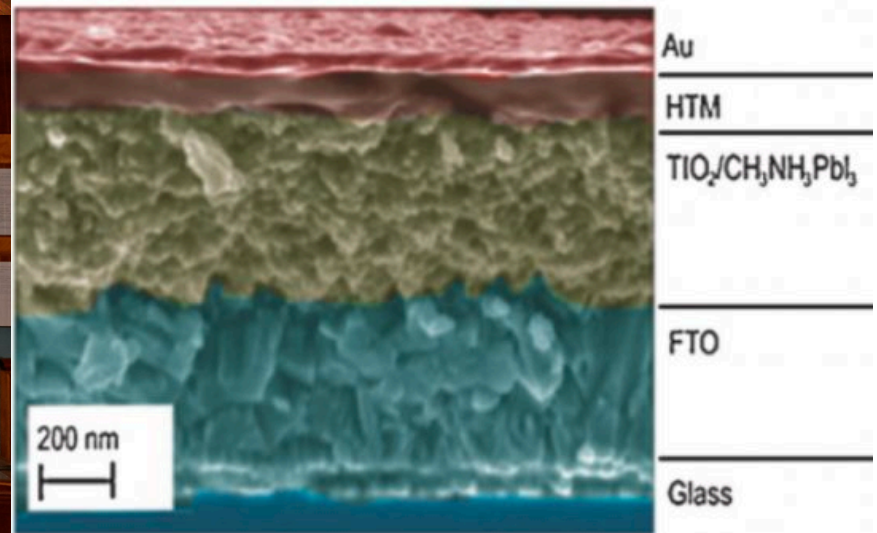
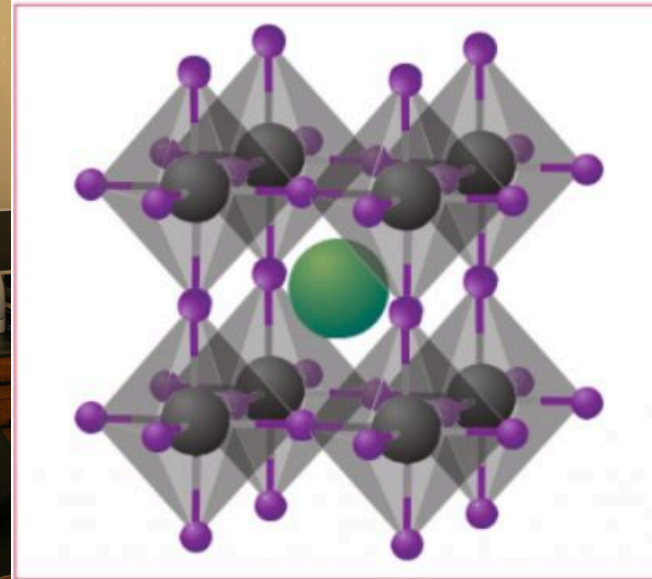
С.Н.С., К.Х.Н.  
Д.М.Иткус и др.

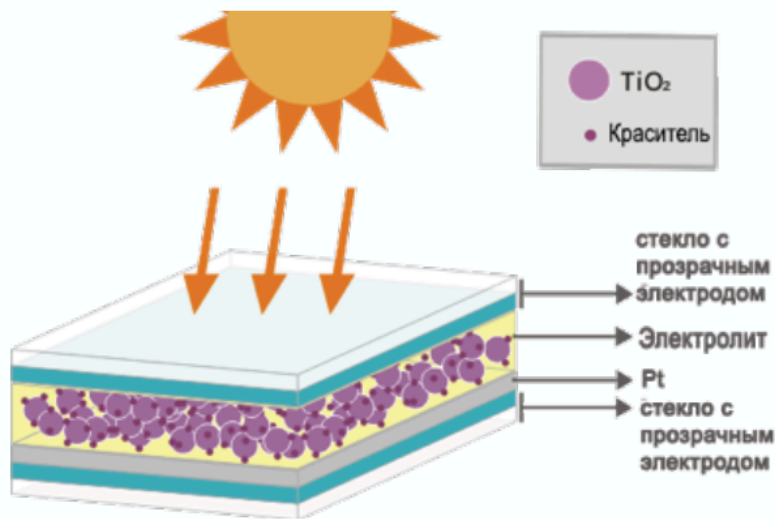
- проблемы создания перезаряжаемых литий-воздушных аккумуляторов,
- разработка высокоемких электродных материалов для интеркаляции лития,
- разработка новых твердых литий-проводящих электролитов,
- развитие методов инструментального анализа материалов и механизмов процессов в электрохимических источниках 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.





# Молодежная лаборатория Новых Материалов для Солнечной Энергетики



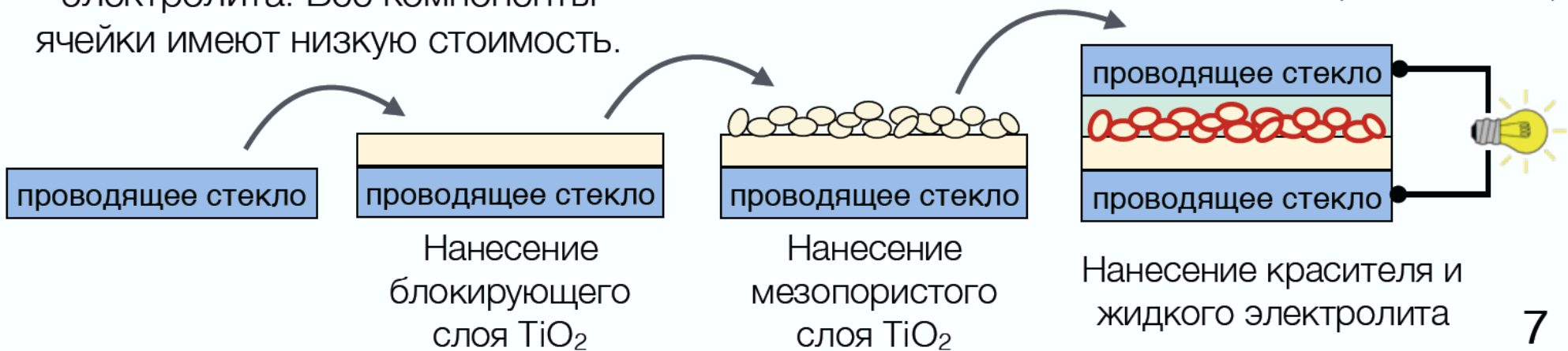


Ячейки Гретцеля состоят из электрон-проводящего материала ( $\text{TiO}_2$ ), органического красителя и дырочно-проводящего жидкого электролита. Все компоненты ячейки имеют низкую стоимость.

Михаэль Гретцель держит в руках панель из сенсibilизированных красителем ячеек



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





## История развития перовскитных ячеек

**1991 год**

Михаэль Гретцель создал  
сенсibilизированные красителем  
солнечные ячейки (ячейки Гретцеля)



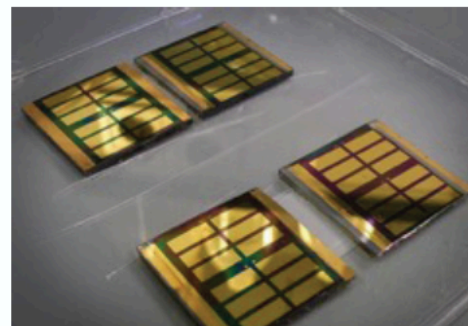
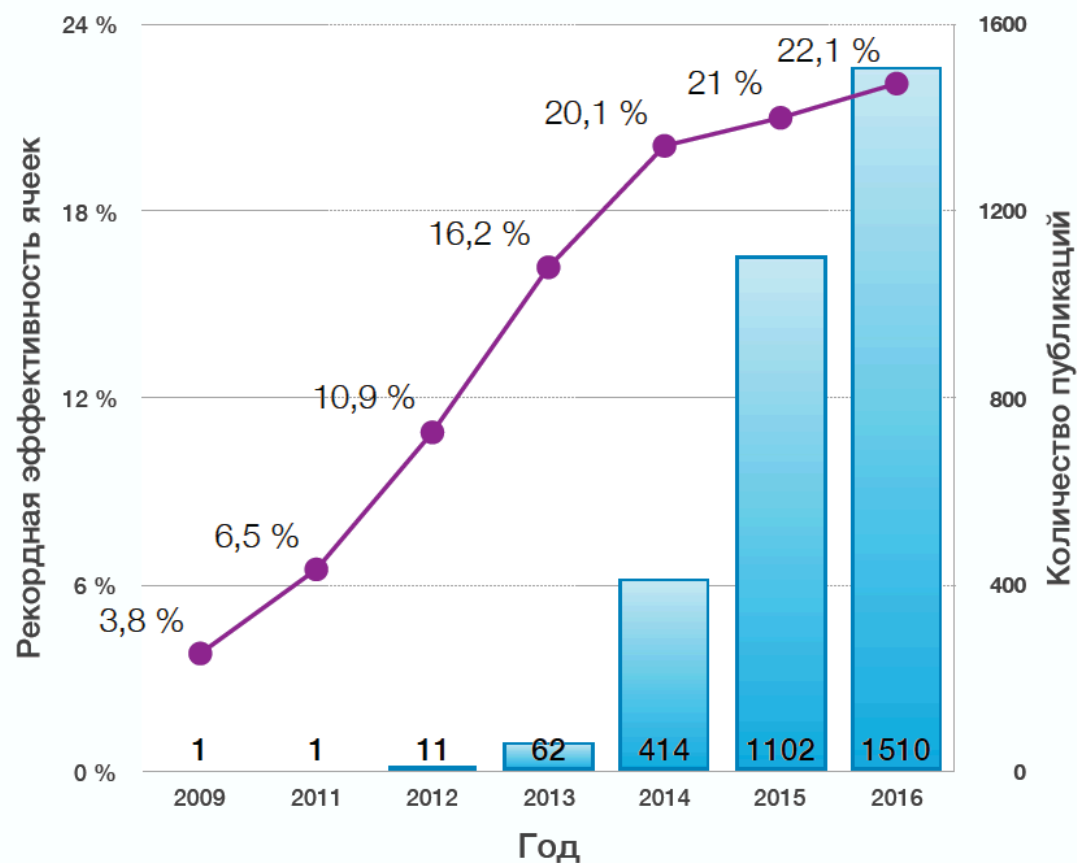
**2009 год**

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

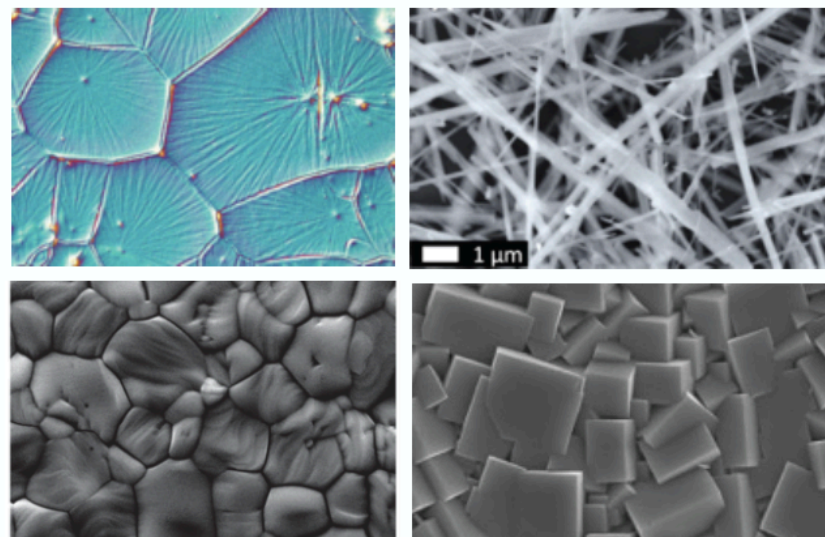
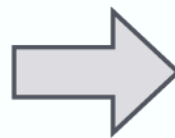
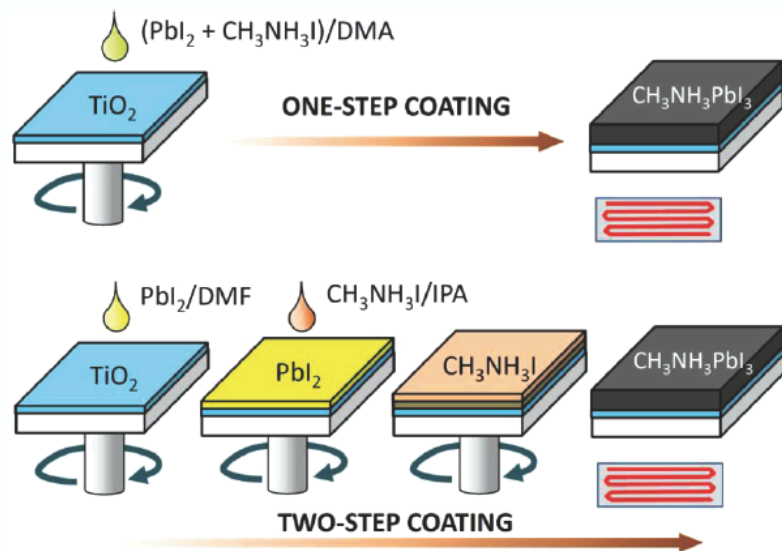
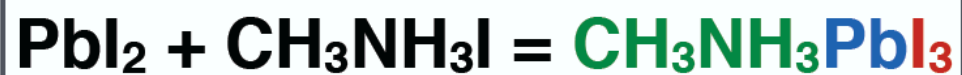
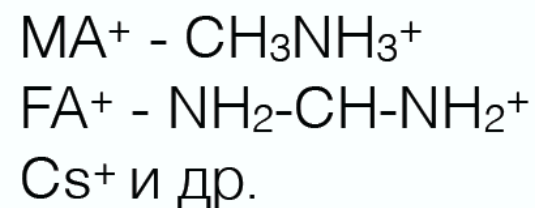
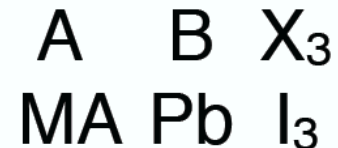
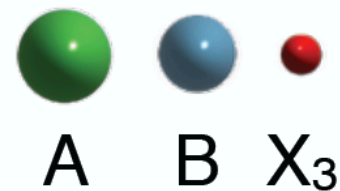
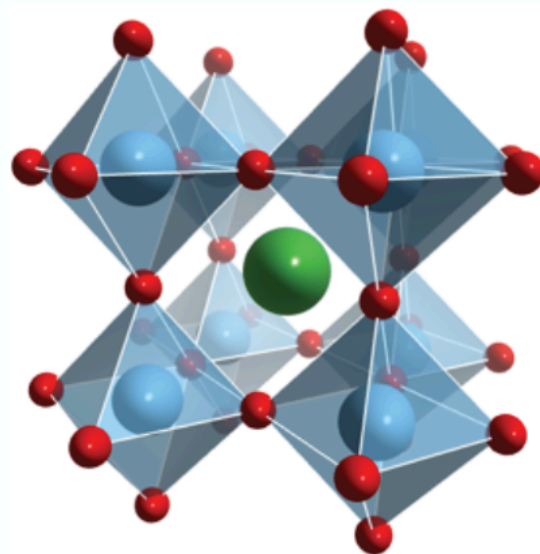


**2016 год**

Перовскитные солнечные ячейки  
с рекордной эффективностью 22,1%



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







Проект по солнечной энергетике  
на проектной смене ОЦ «Сириус»

# Наночастицы благородных металлов

Journal of  
Materials Chemistry

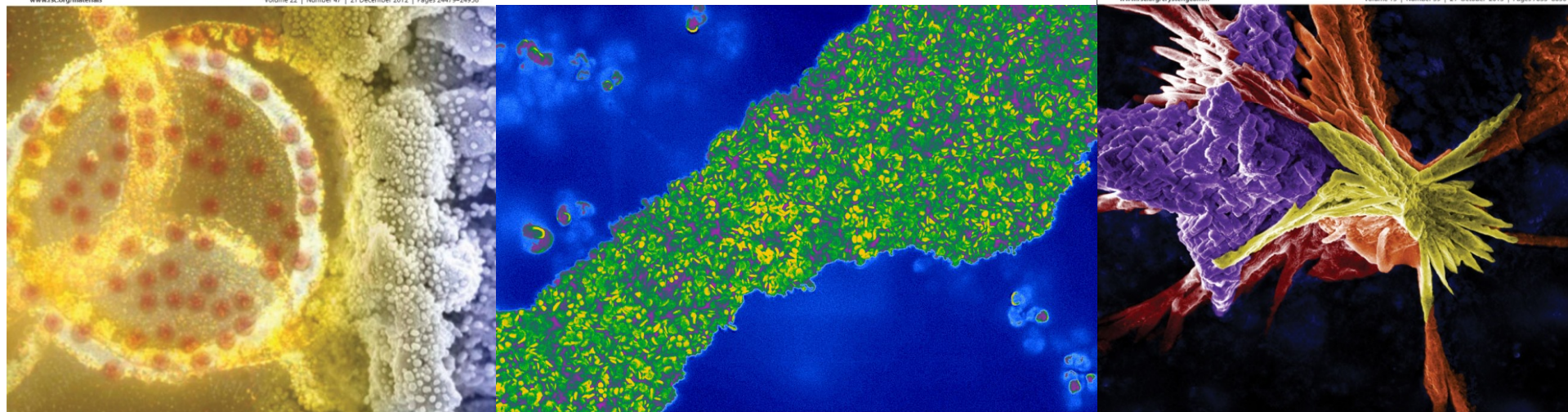
www.rsc.org/materials

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

CrystEngComm

www.rsc.org/crystengcomm

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



ISSN 0959-9428

RSCPublishing

PAPER

Eugene A. Goodilin et al.  
Plasmonic 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  
System Vacuum = 1.38e-006 mbar  
Gun Vacuum = 1.69e-009 mbar

RSCPublishing

COVER ARTICLE

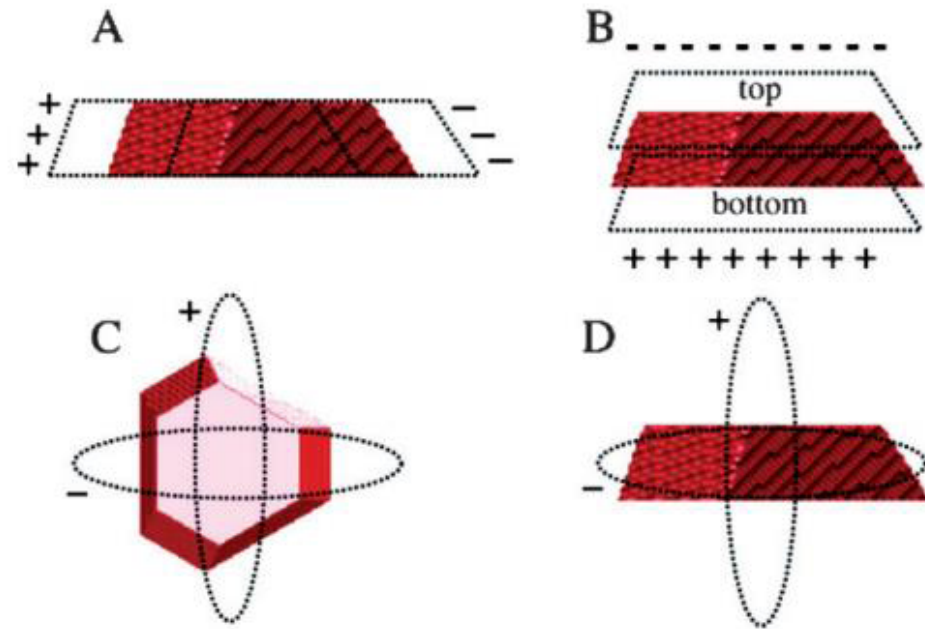
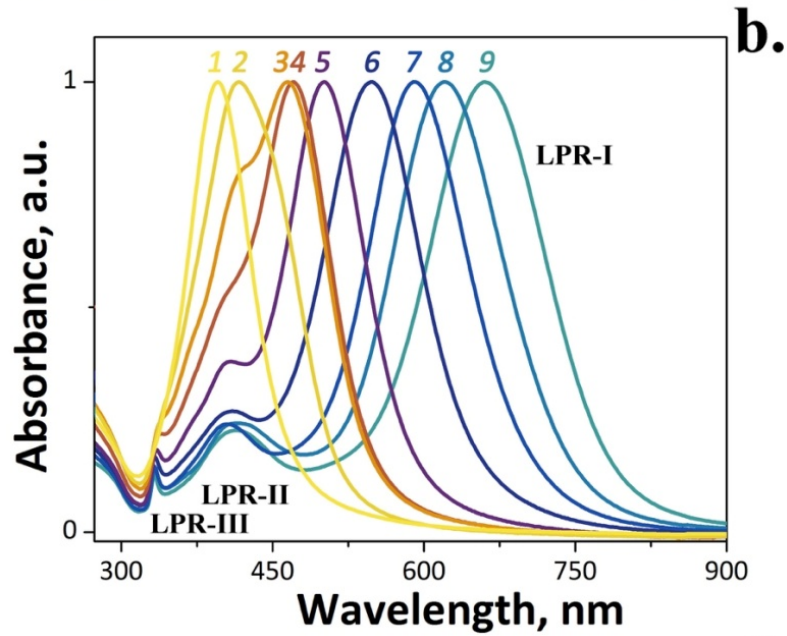
Senenova et al.  
Unusual silver nanostructures prepared by aerosol spray pyrolysis

- 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»



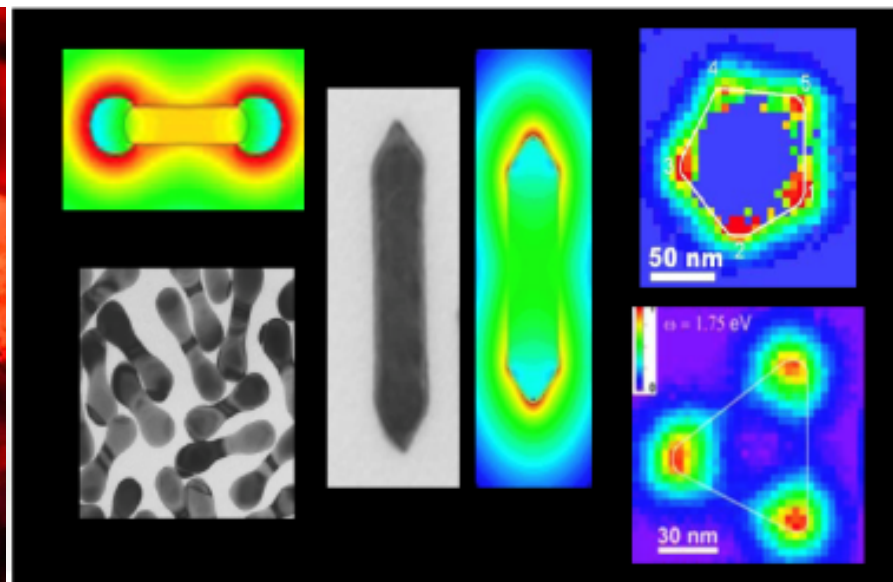


# Форма частиц

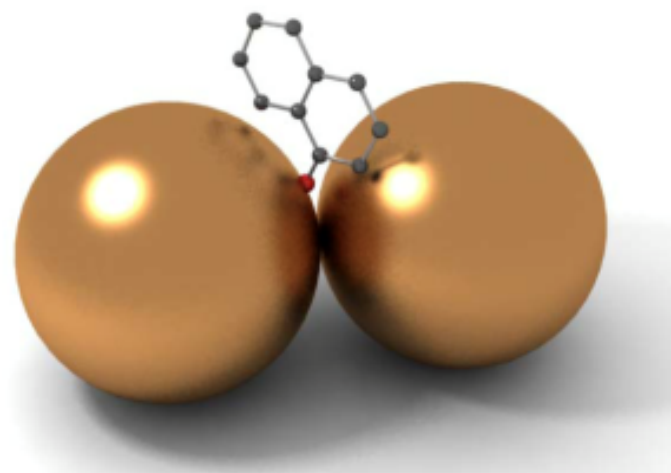


*анизотропия частиц*

# Горячие точки



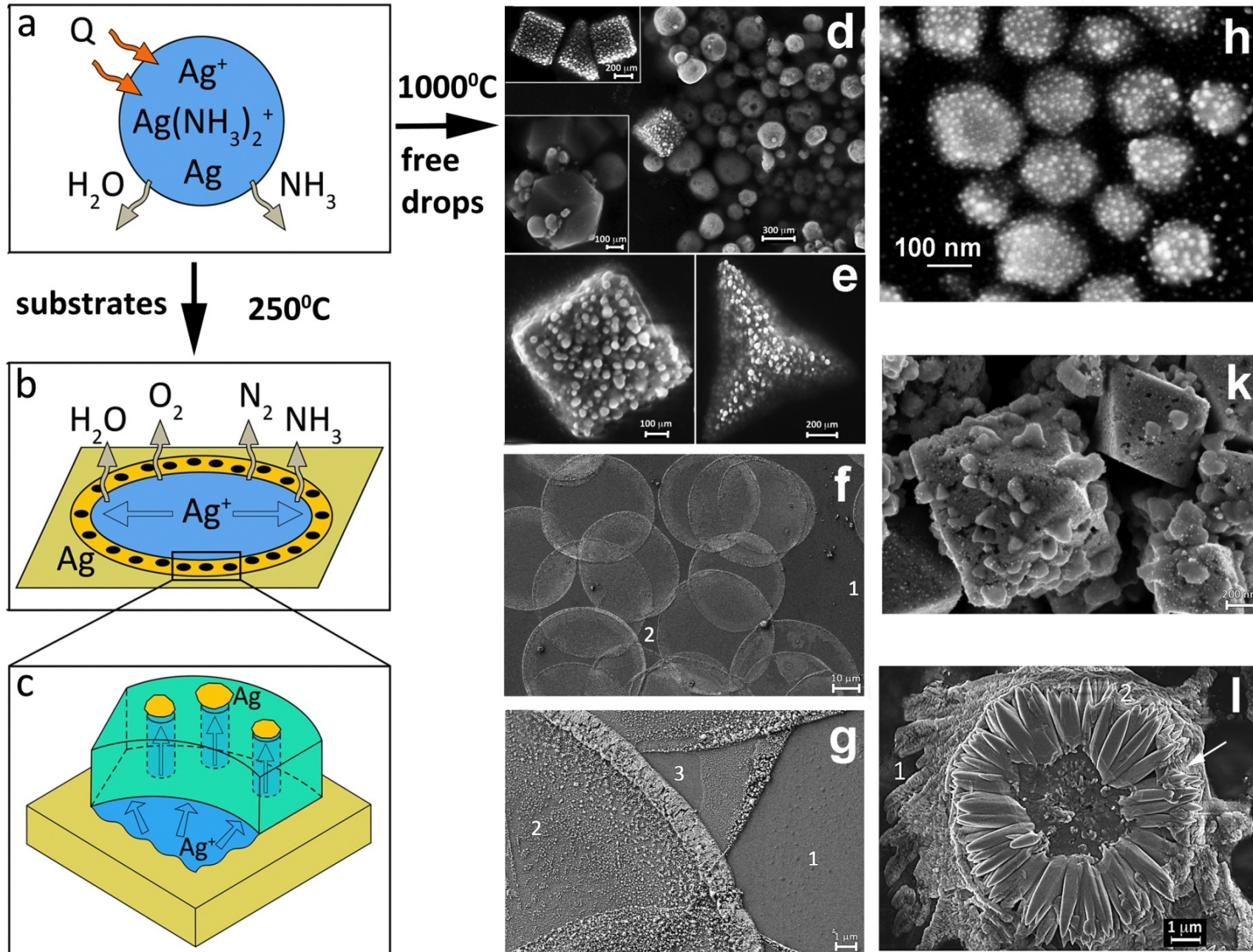
Hot spot



*агрегатная структура*



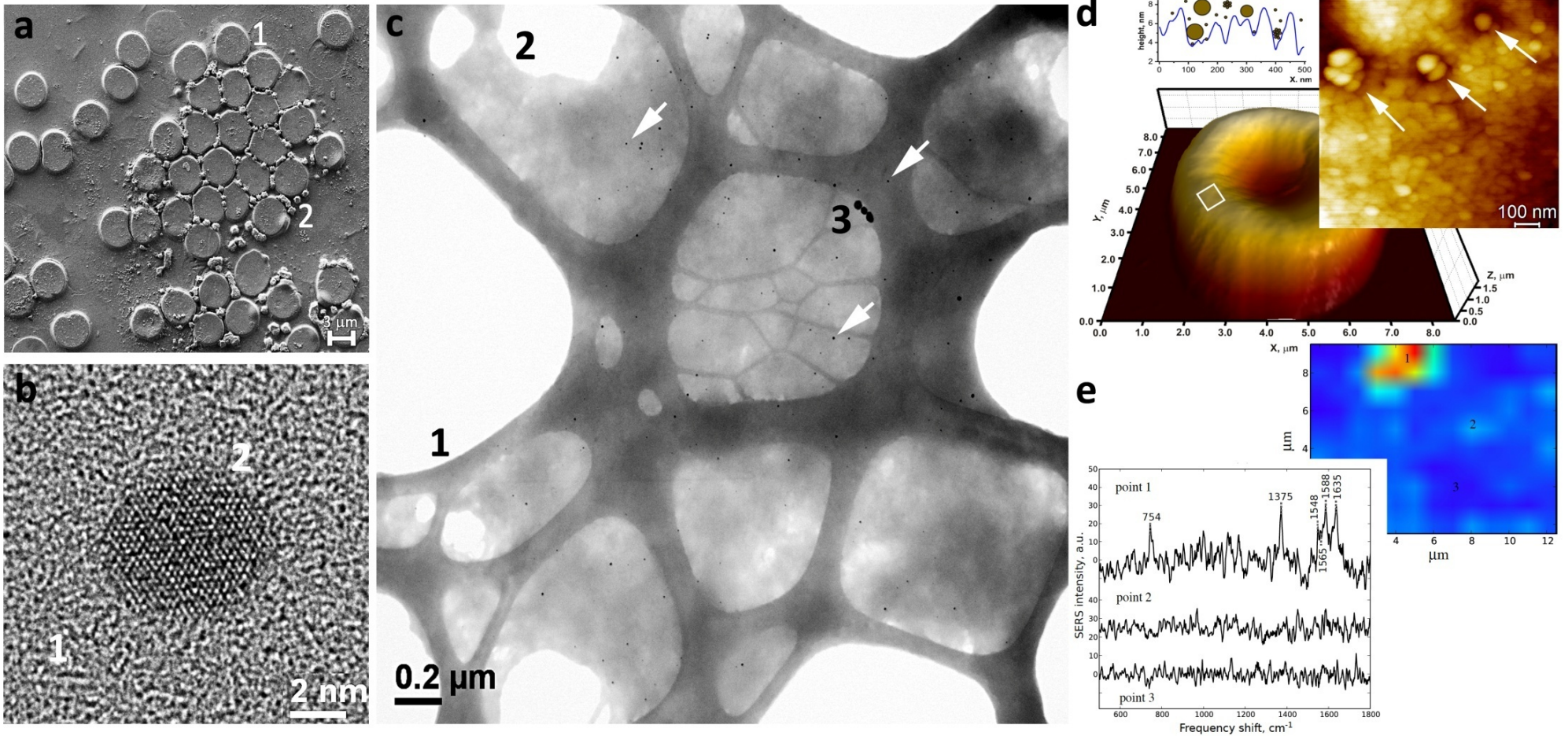
# USSR (UltraSonic Silver Rain)



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

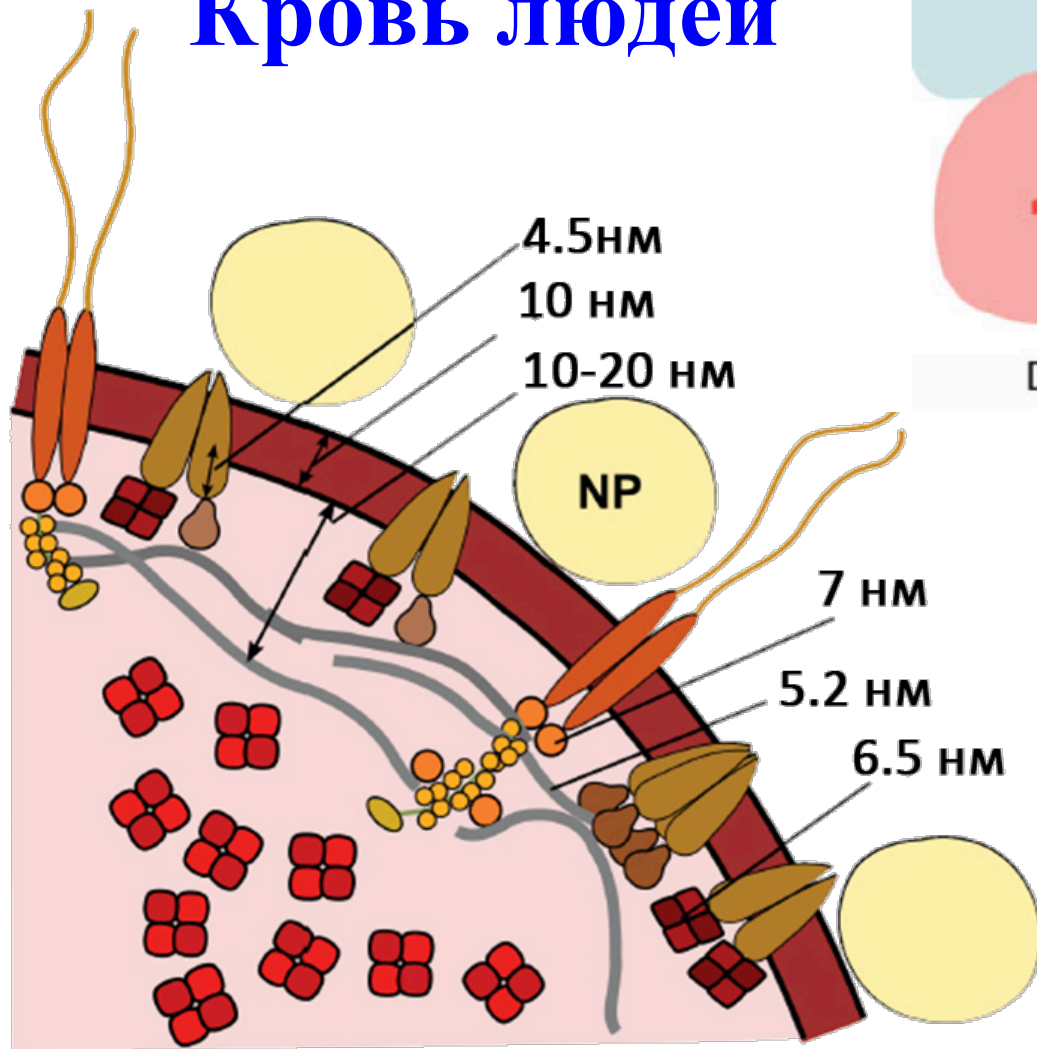


# Серебро и клеточная мембрана

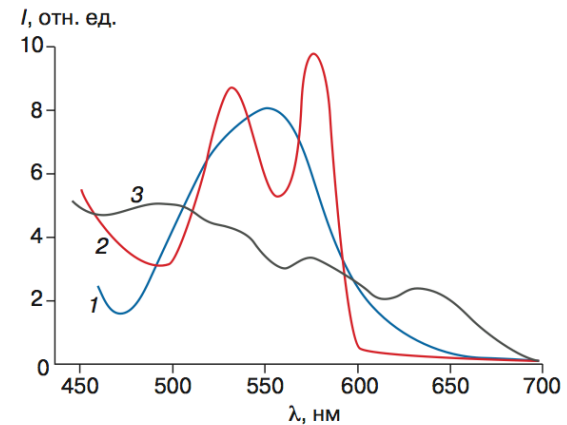
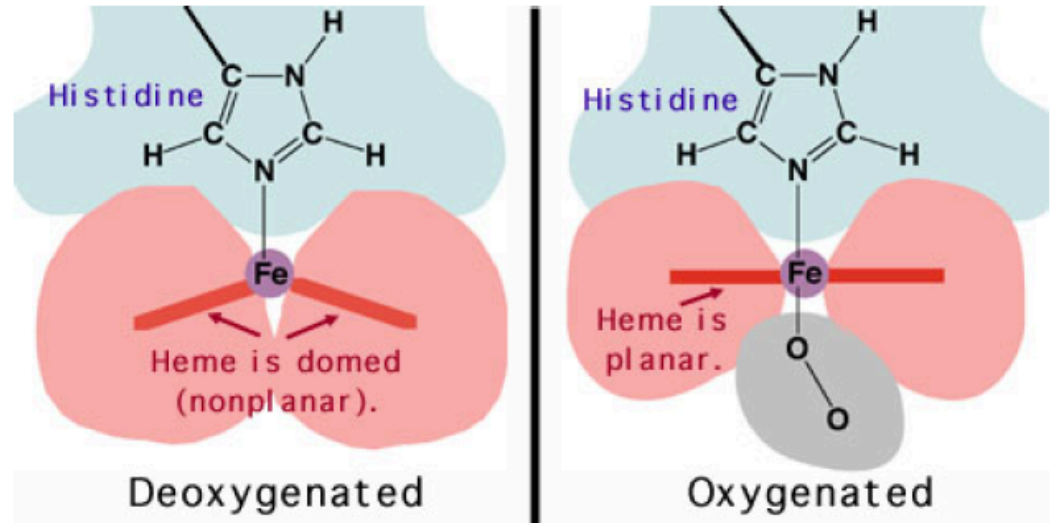




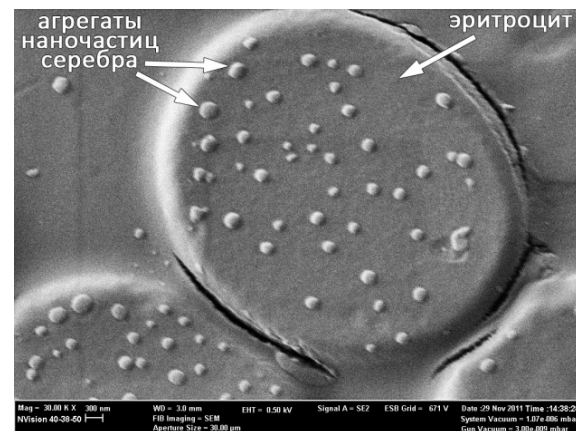
# Кровь людей



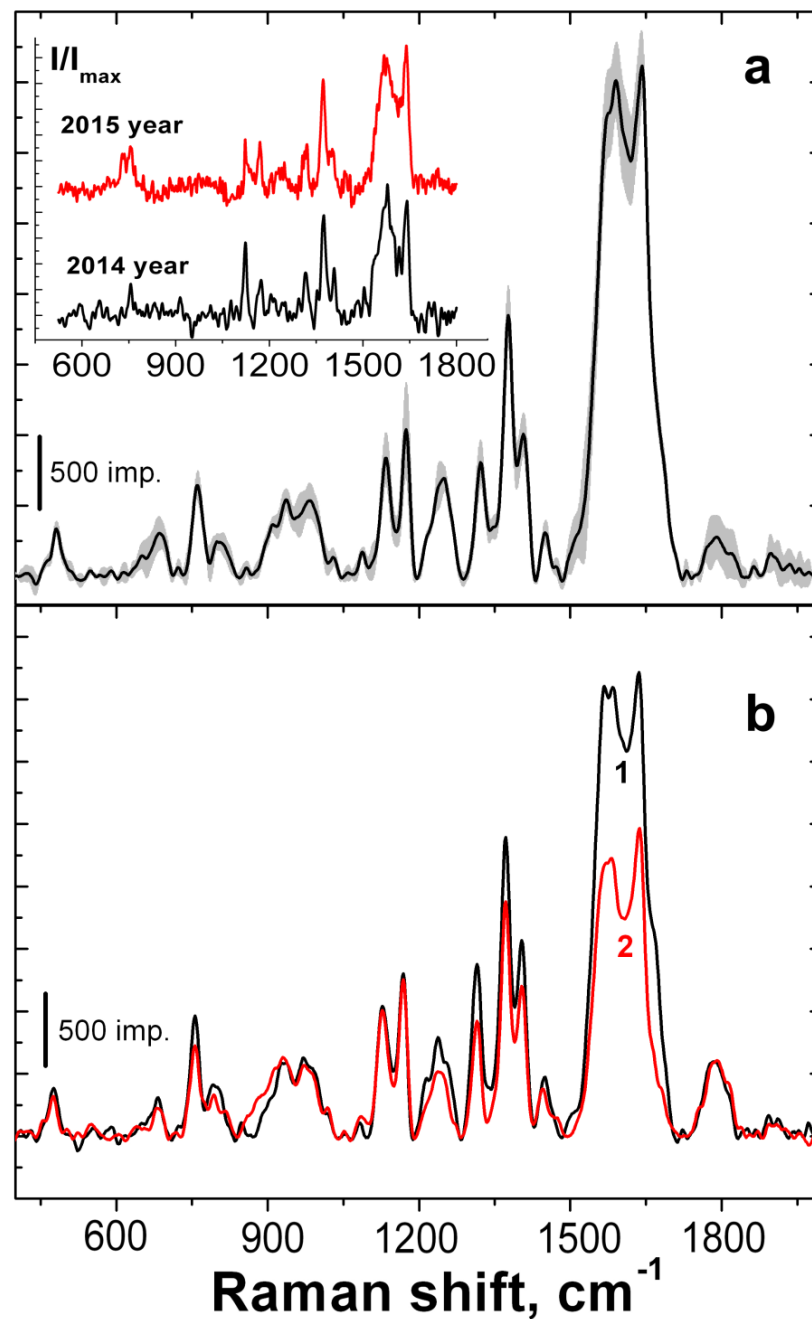
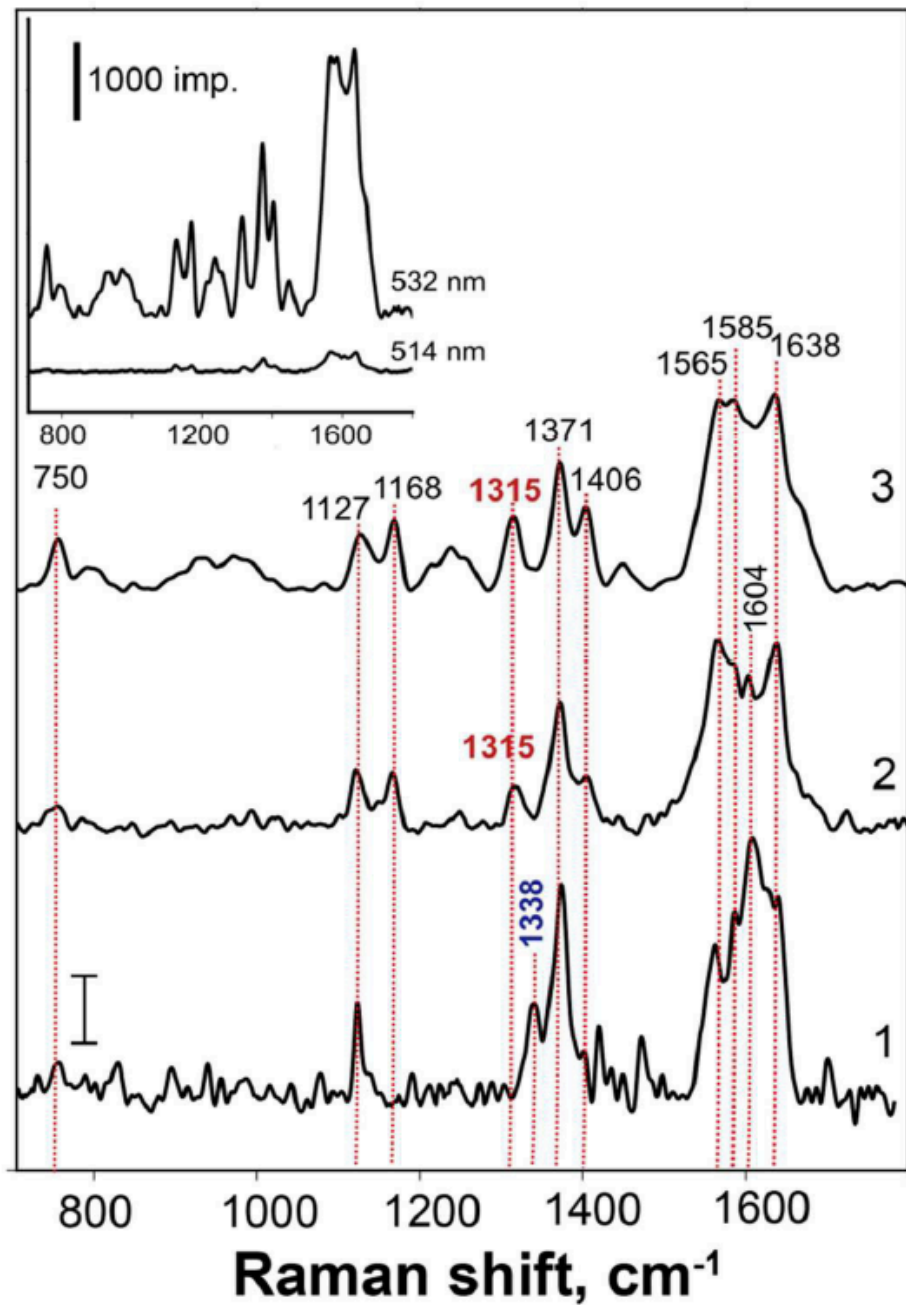
- NP Наночастица
- Гб<sub>мс</sub>
 Гб<sub>цит</sub>
 АЕ1 обменник (белок полосы 3)
- Анкирин
- Гликофорин
- Белок полосы 4.1
- Актин, тропомиозин, тропомодулин
- Спектрин



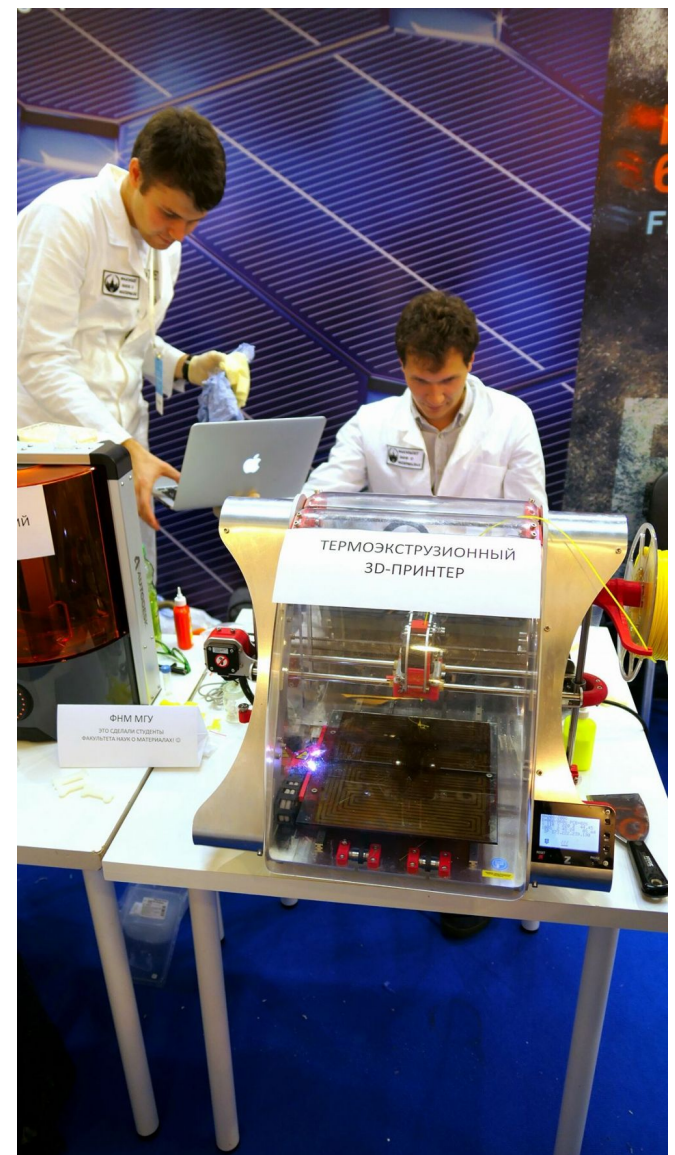
Спектры поглощения дезоксигемоглобина (1), оксигемоглобина (2) и ферригемоглобина (3)



J. Raman Spectr., 2013







Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ: солнечные батареи, фруктовые батарейки, печать шоколадом





Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ:  
люминесцентная защита документов.





Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ:  
фильтрация кока – колы через микропористые  
керамические мембраны.

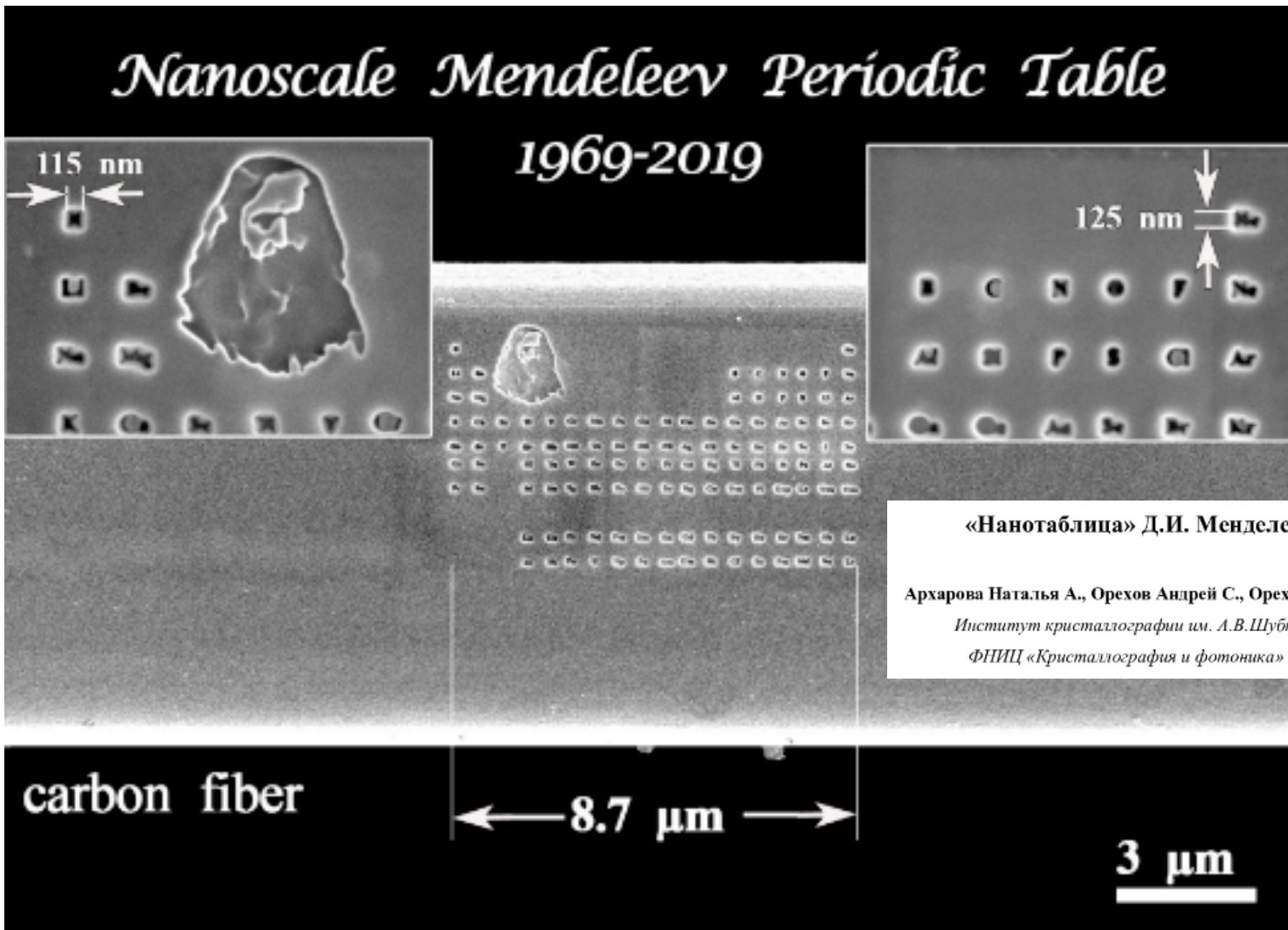




Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ:  
сверхпроводящий поезд



# Международный год ПСЭ



# NANO XII

НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!

ПИК НЕОБОСНОВАННЫХ  
ОЖИДАНИЙ

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ  
ГИПЕРБОЛИЗАЦИЯ



РА  
РА  
МИНИМУМ  
РА





# 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*