Развитие новых направлений наук о материалах в молодежных лабораториях ФНМ МГУ

Е.А.Гудилин, МГУ
www.nanometer.ru
goodilin@yandex.ru

XVIII Колмогоровские чтения
СУНЦ МГУ
Москва
3 мая 2018


NANO XII
НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!
ПИК НЕОБОСНОВАННЫХ
ОЖИДАНИЙ
ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ
ГИПЕРБОЛИЗАЦИЯ


NANO XII
НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!

Материаловедческие минереволюции

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, НОР)
Аналитика материалов – всегда (ЦКП ФНМ МГУ)

ФНМ

ЛНМ х/ф

ИОНХ РАН

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_2, ZrO_2 (А.Н.Баранов, Б.Р.Чурагулов)

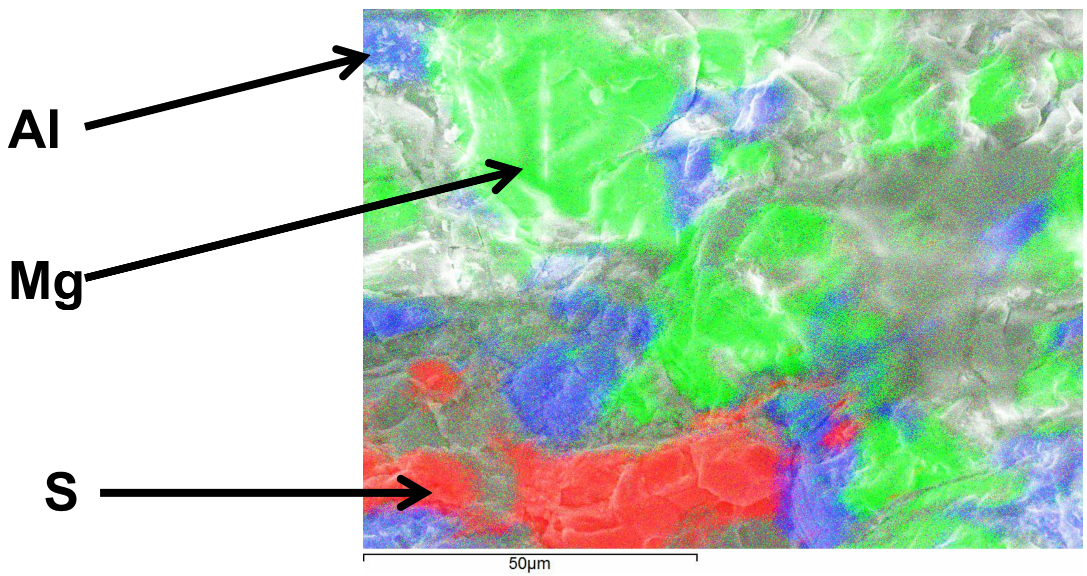
Биоматериалы – после 2005 года
биокерамика (В.И.Путляев)
диоксид церия (В.К.Иванов, …)
медицинская диагностика (А.Е.Гольдт, А.А.Семенова, Н.А.Браже)

Химические источники тока – после 2010 года
катодные материалы (О.А.Брылев, О.А.Шляхтин, Д.М.Иткис)
литий – воздушные аккумуляторы (Д.М.Иткис)

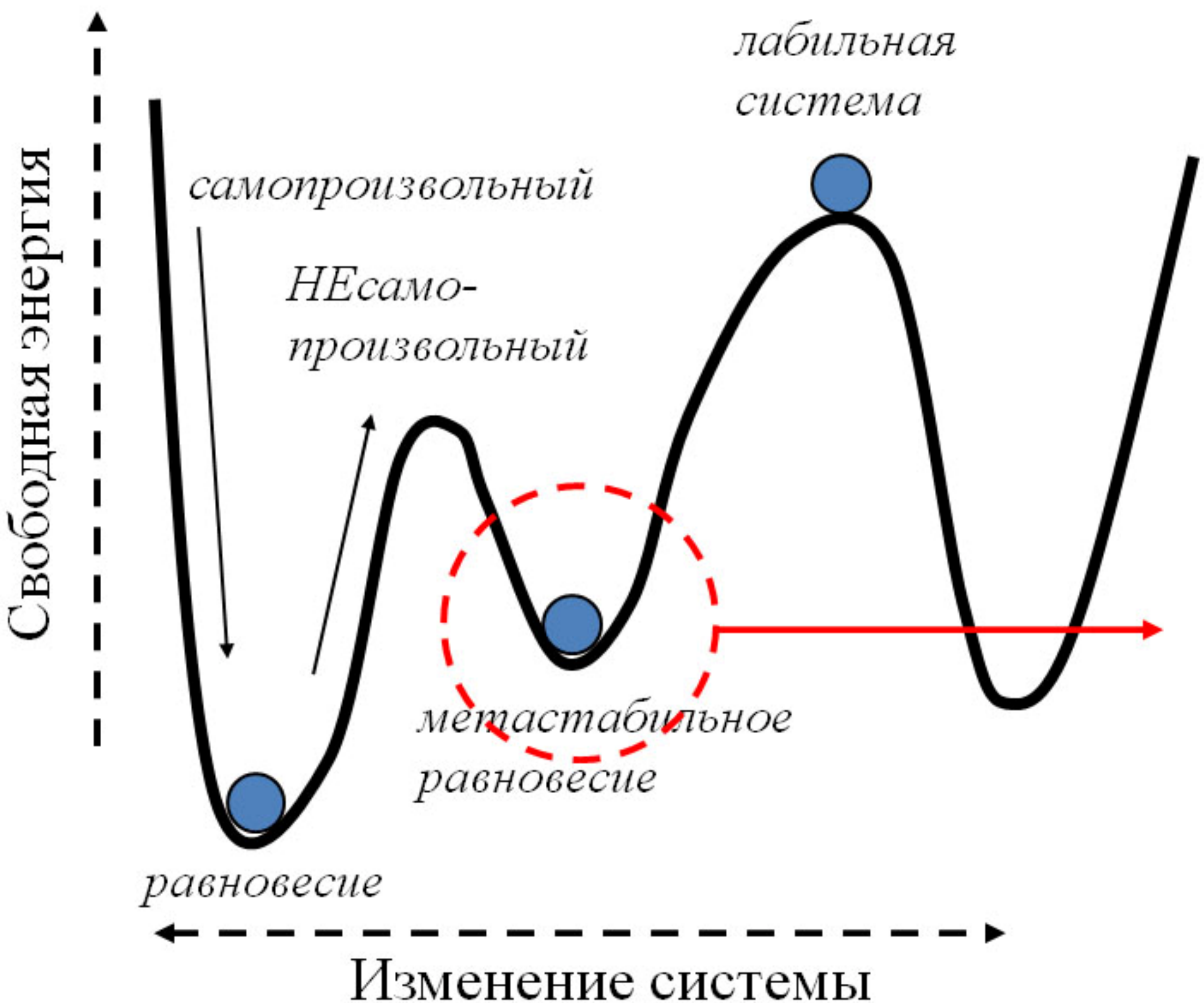

(x, y) Пространство (z)
(секунда,.. тысячелетия) Время (фемтосекунда, …, миллиарды лет)
5 измерение?
© Sedova Elena 2005 www.krolikov.net

Чебаркульский метеорит

- в его исследовании принимали участие сотрудники ФНМ



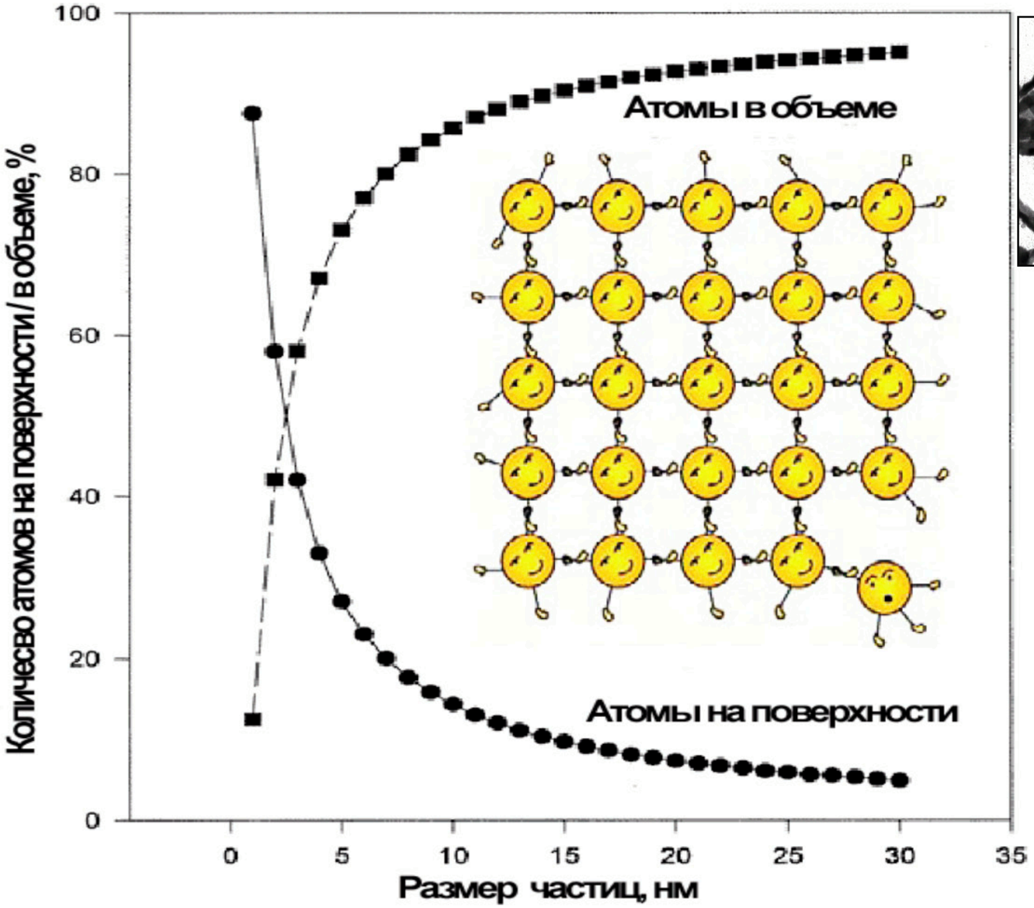
«Наноуровень» структуры (1 - 100 нм) **существует всегда, и если он предопределяет свойства материала, то говорят о <u>наноматериале</u>.**

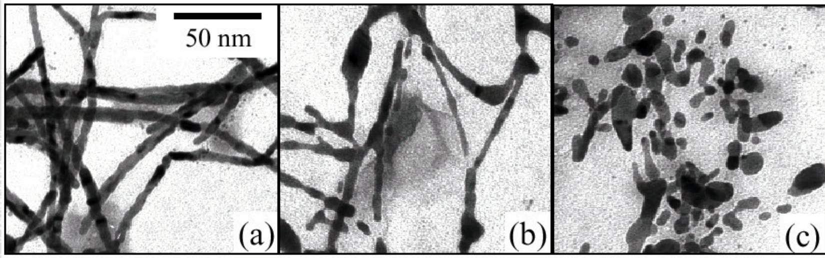


- Фактор времени
- Зависимость от пути перехода
- Дефекты, «состав-структура-свойства»

Разные формы материалов

Вклад поверхности



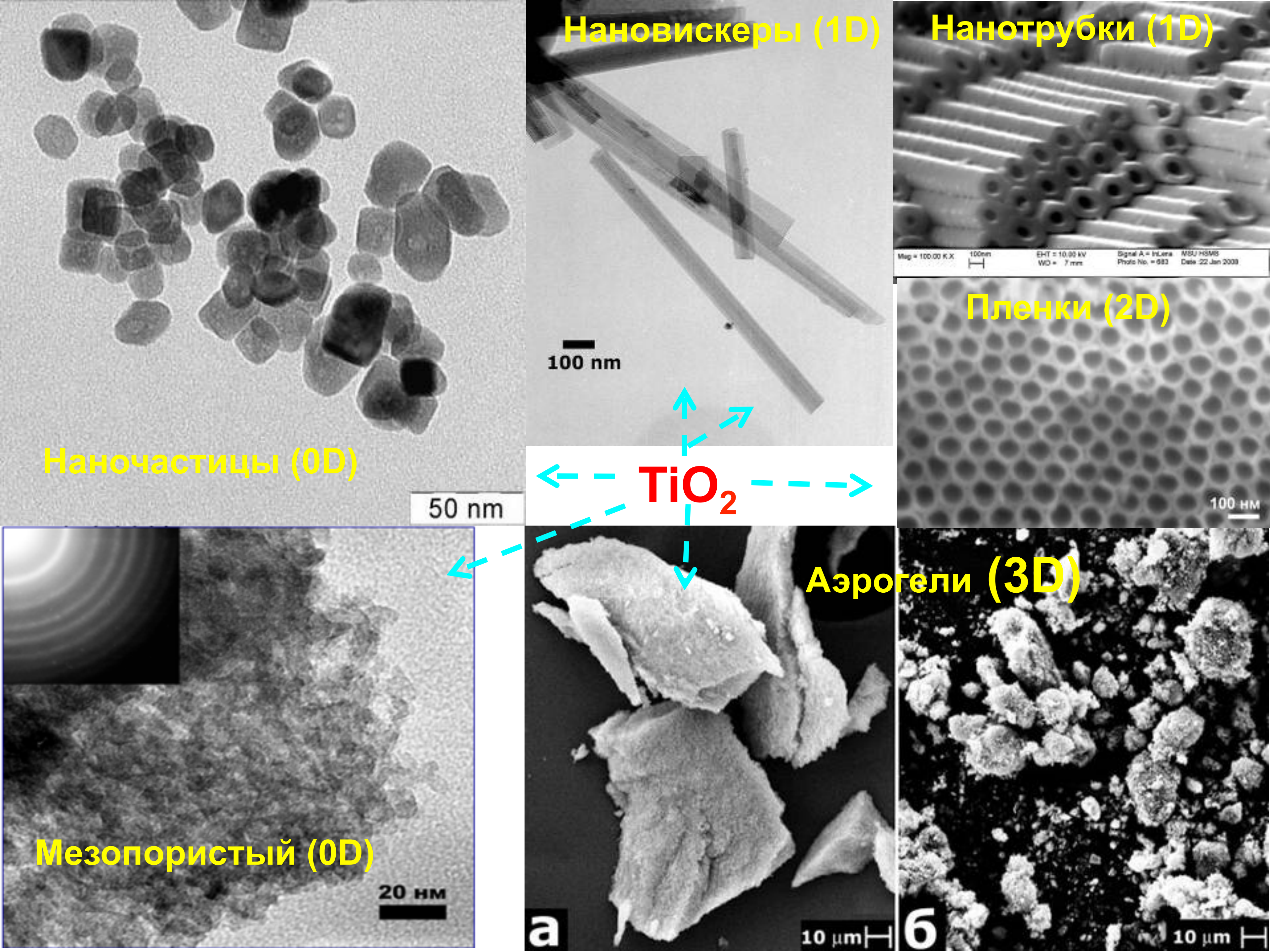


150 °C 200 °C 300 °C

C. Jinwoo et al., ***Mat. Res. Soc. Symp.*****, 2001,** ***635*****, C. 3.3.1-3.3.6.**

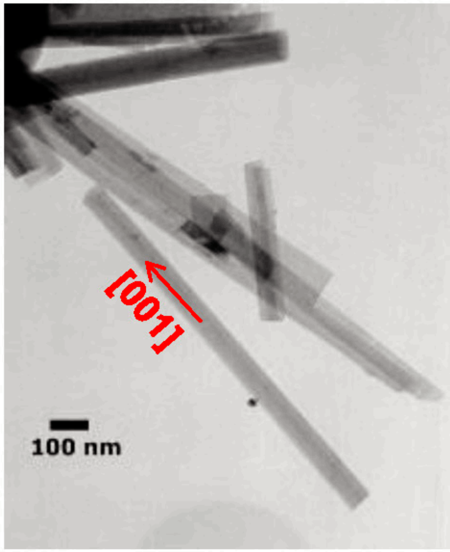
Процесс формирования наноструктур по принципу «сверху-вниз» предусматривает обработку макромасштабного объекта или структуры и постепенное уменьшение их размеров, вплоть до получения изделий с нанометровыми параметрами…

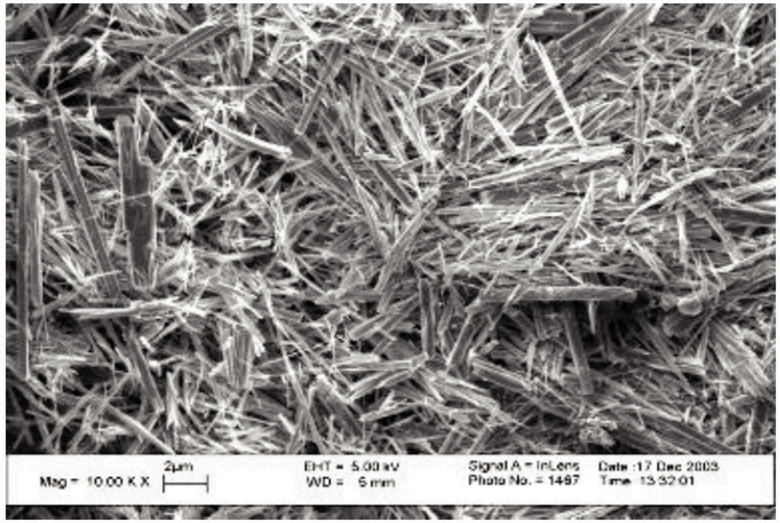
Технология «снизу-вверх» заключается в том, что при создании наноструктур набирают и выстраивают отдельные атомы и молекулы в упорядоченную структуру...



Наночастицы (0D)
50 nm
Нановискеры (1D)
100 nm
Нанотрубки (1D)
Пленки (2D)
100 нм
TiO2
Мезопористый (0D)
20 нм
Аэрогели (3D)
а
10 µm
б
10 µm

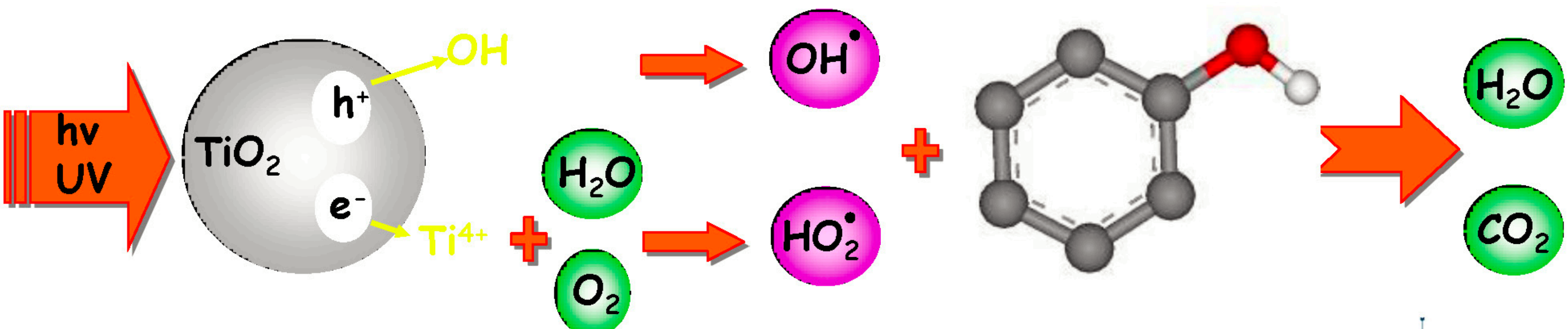
Гидротермальная обработка



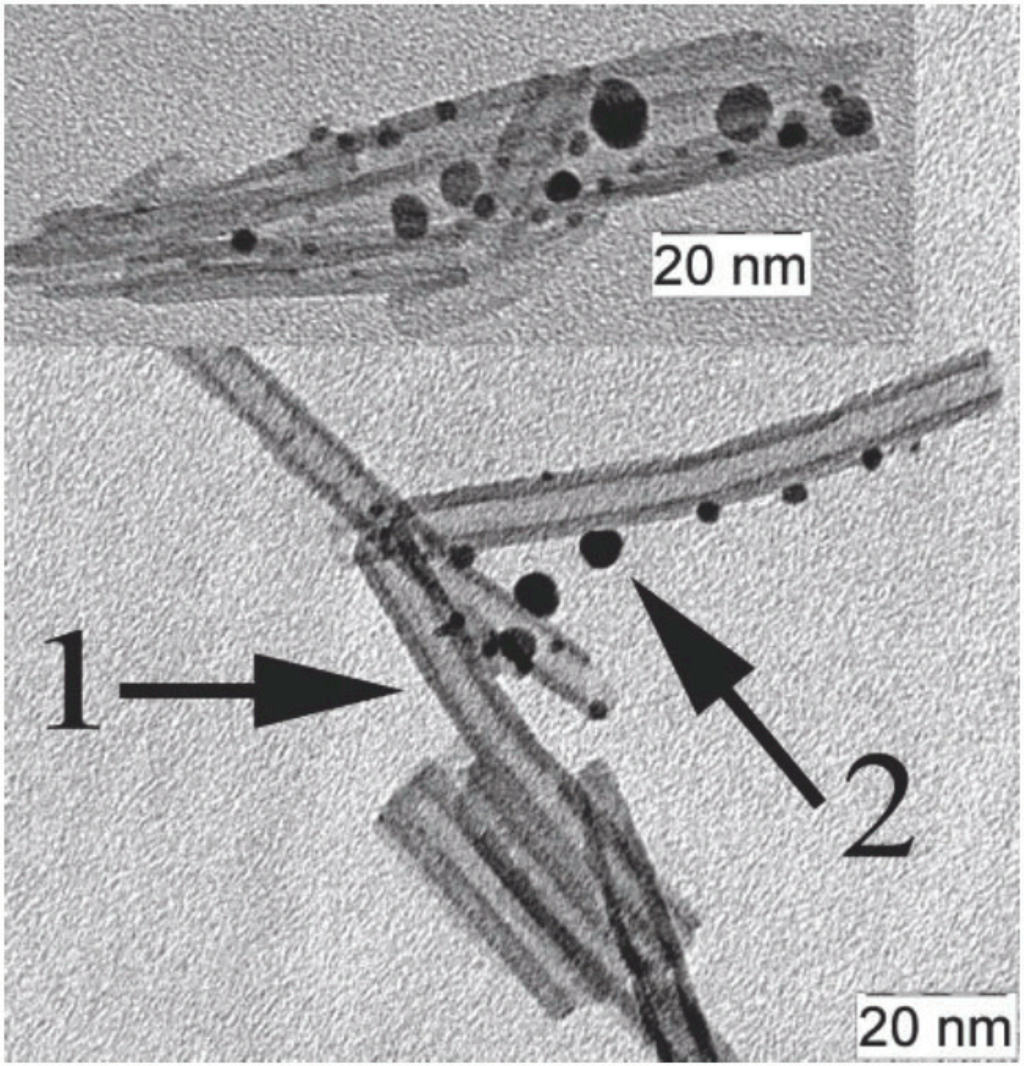


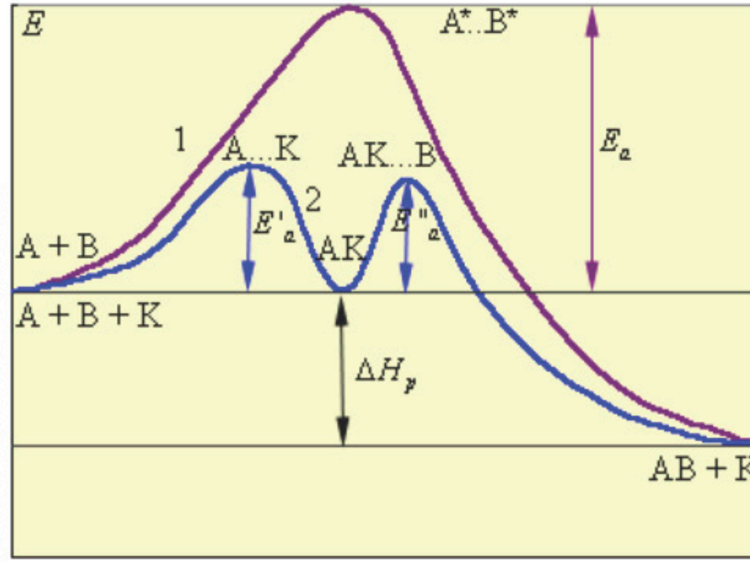
TiO_2,

контроль pH
вода
150-250^{0}C

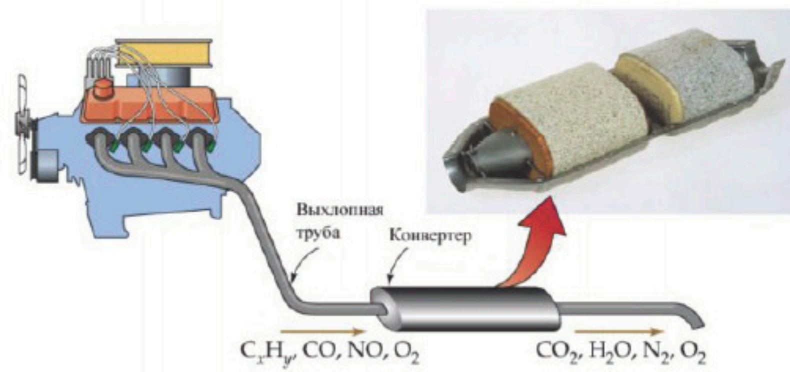


Нанотрубки





Координата реакции



$CO(г) + поверхность \rightarrow CO(адс)$

$O_2(г) + поверхность \rightarrow 2O(адс)$

$CO(адс) + O(адс) \rightarrow CO_2(адс)$

$CO_2(адс) \rightarrow CO_2(г)$

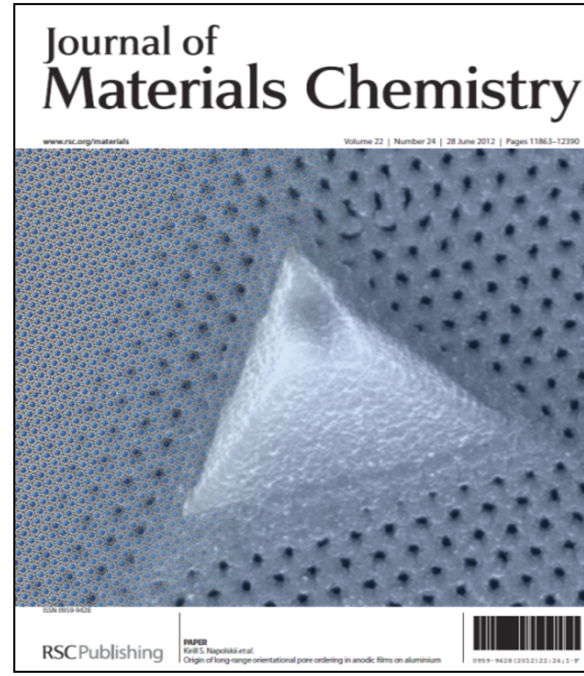
Сенсорика

Функциональные наноматериалы

Член – корр.,
д.х.н. А.В.Лукашин

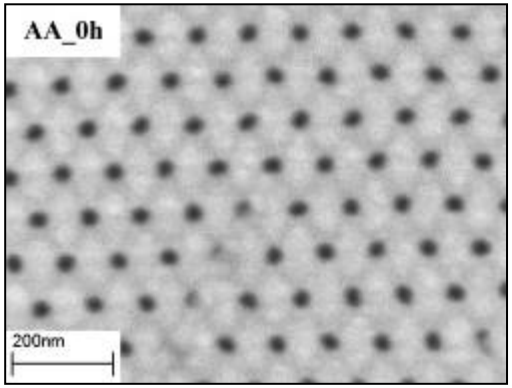
Доц., к.х.н.
А.А.Елисеев

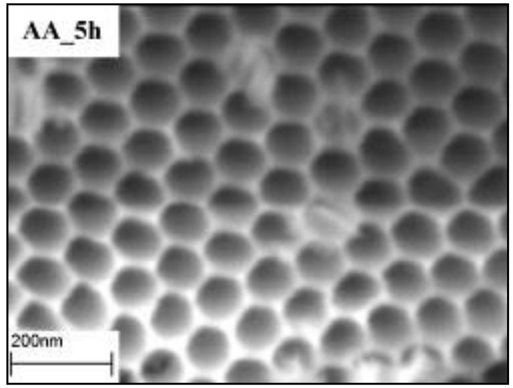
В.н.с., к.х.н.
К.С.Напольский

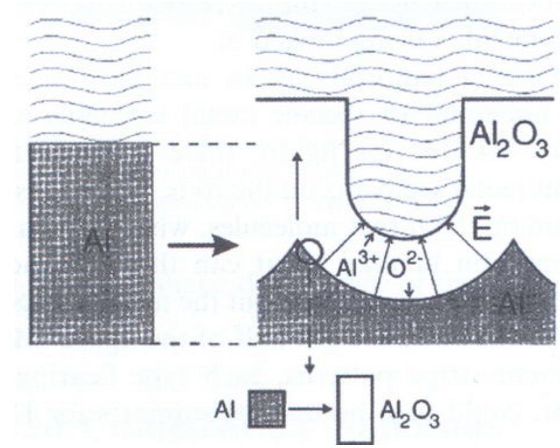


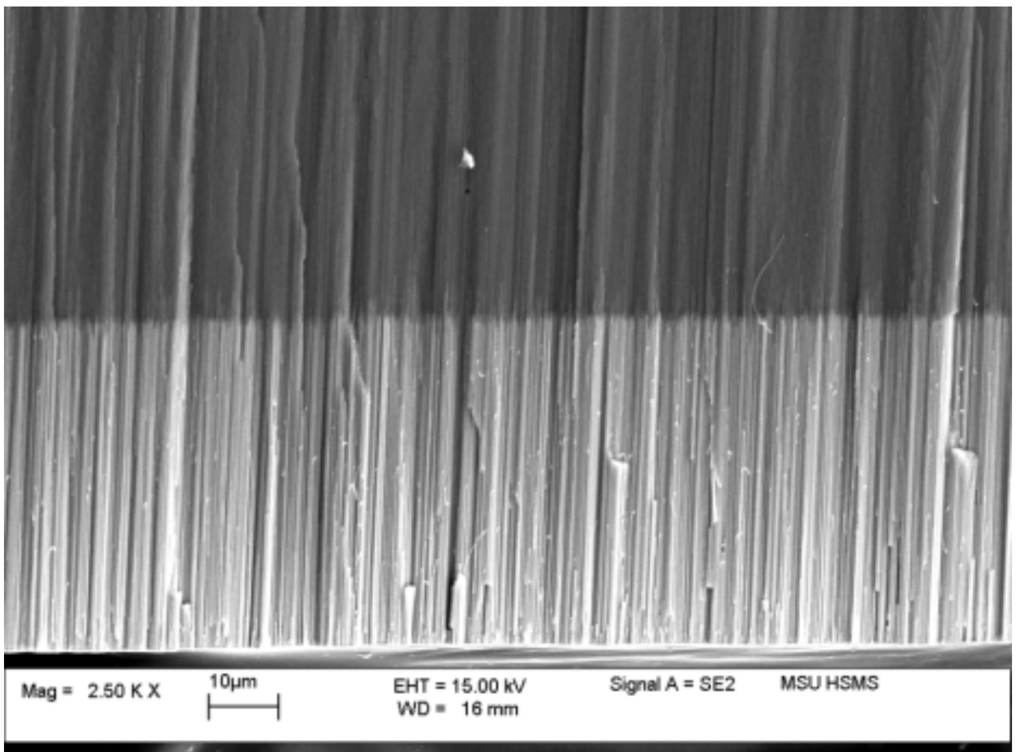
- разработка неорганических и гибридных мембран для фракционирования газообразных и жидких сред,
- получение одномерных наноструктур на основе нанонитей и углеродных нанотрубок для элементов наноэлектроники,
- разработка планарных газовых сенсоров,
- синтез высокоэффективных катализаторов,
- создание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

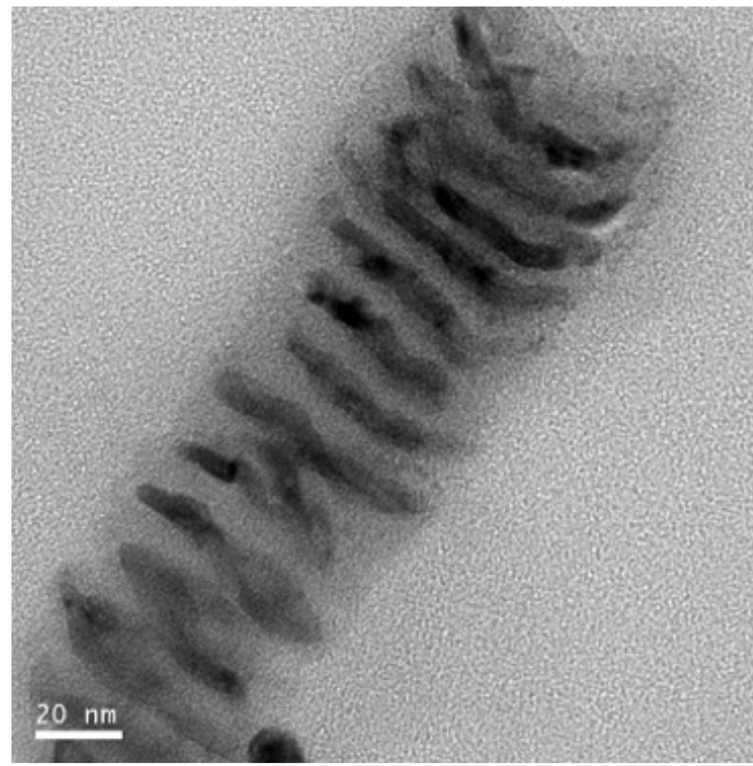
Нанокомпозиты



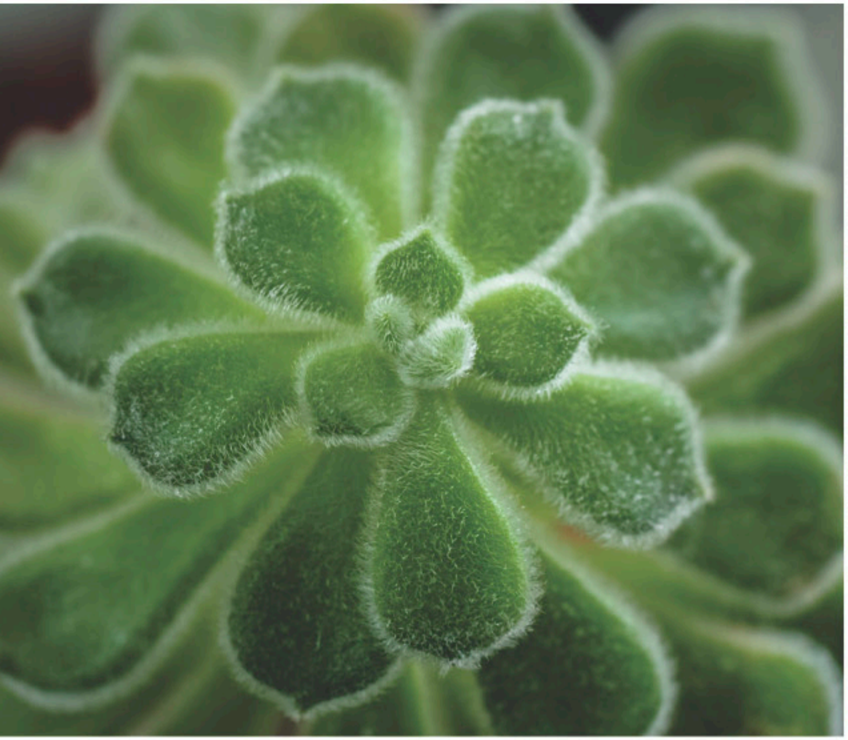




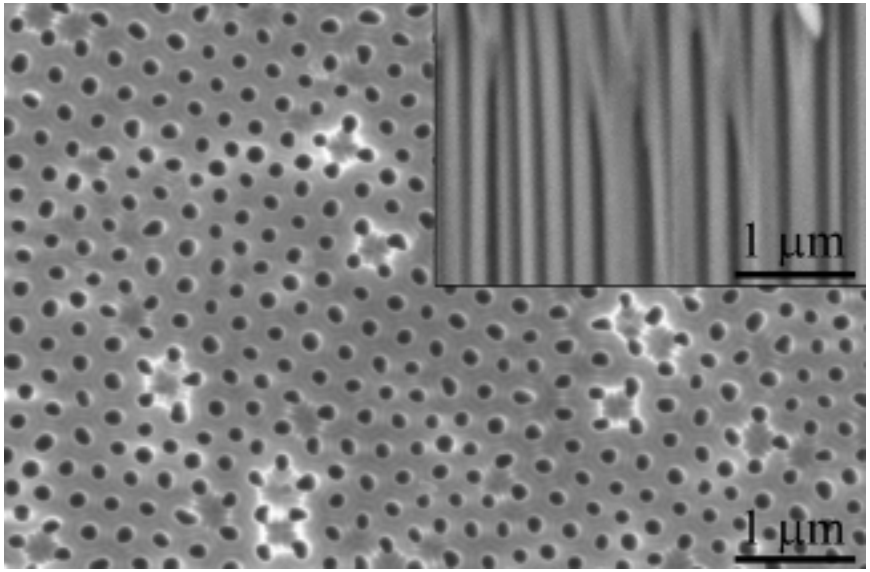


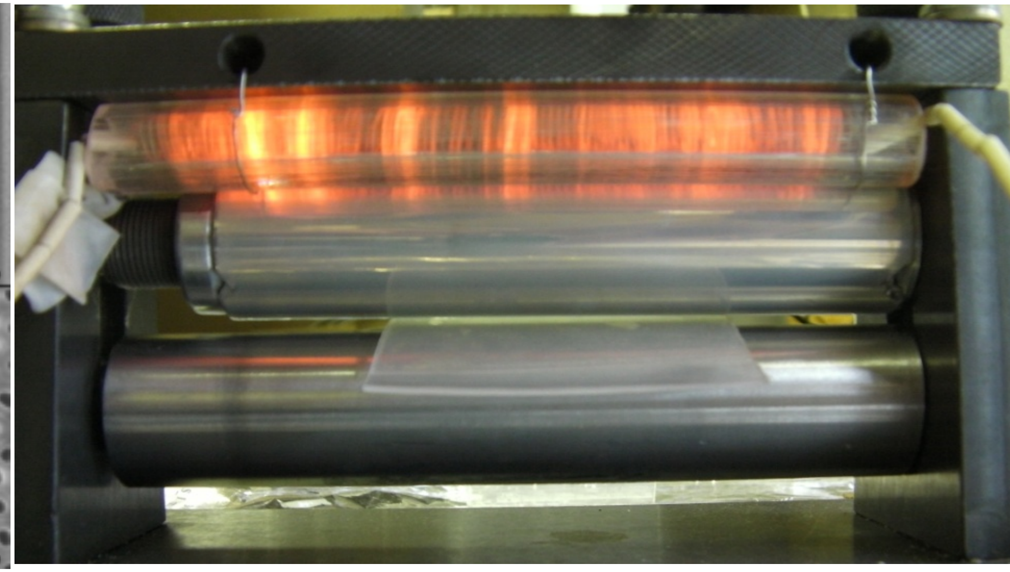


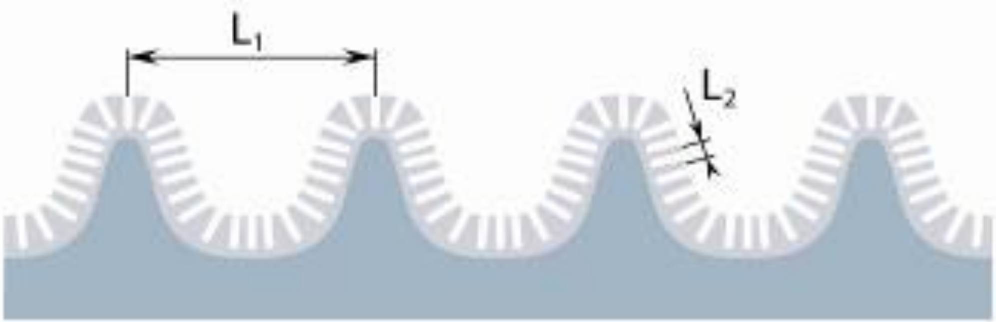
Эффект лотоса



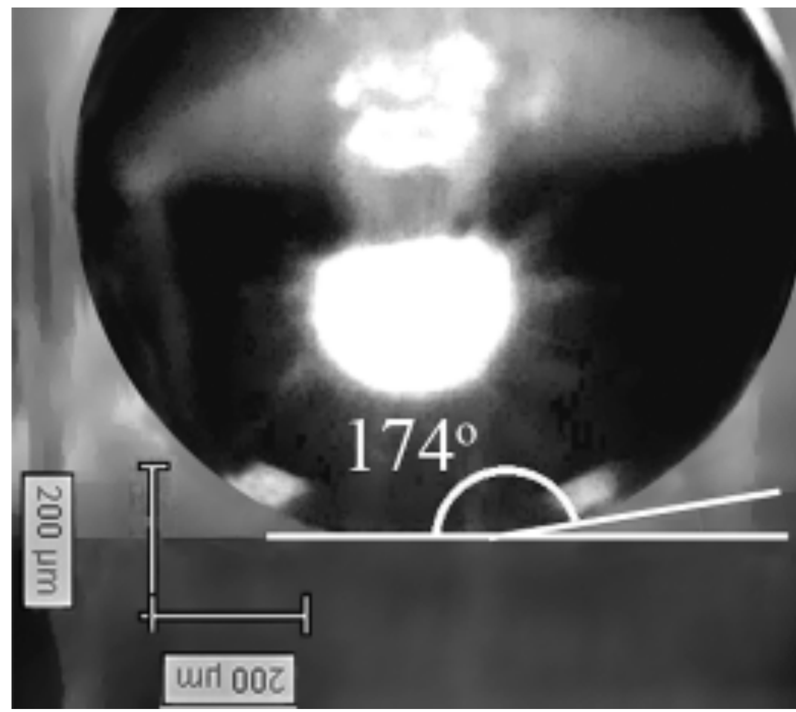
Мембраны пористого оксида алюминия







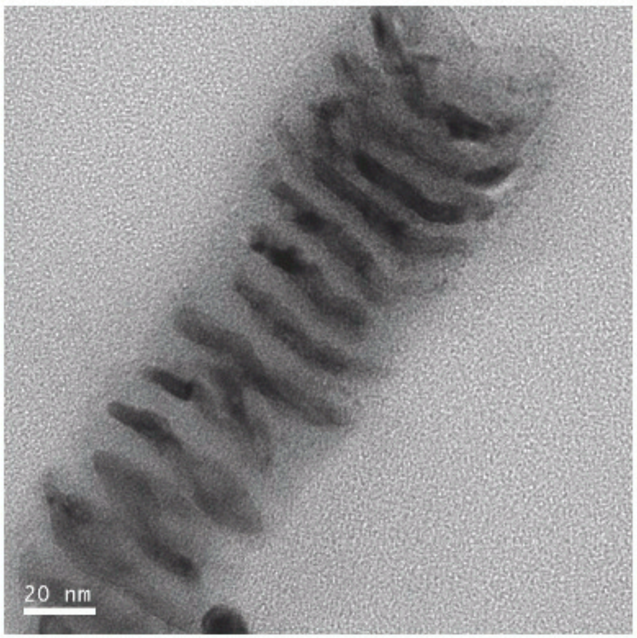
Микрошероховатости L_1=5-10 мкм
Расстояние между порами L_2= 300-500 нм, диаметр пор 100-250 нм
+разделение нефтепродуктов
+опреснение воды
+термокаталитические сенсоры



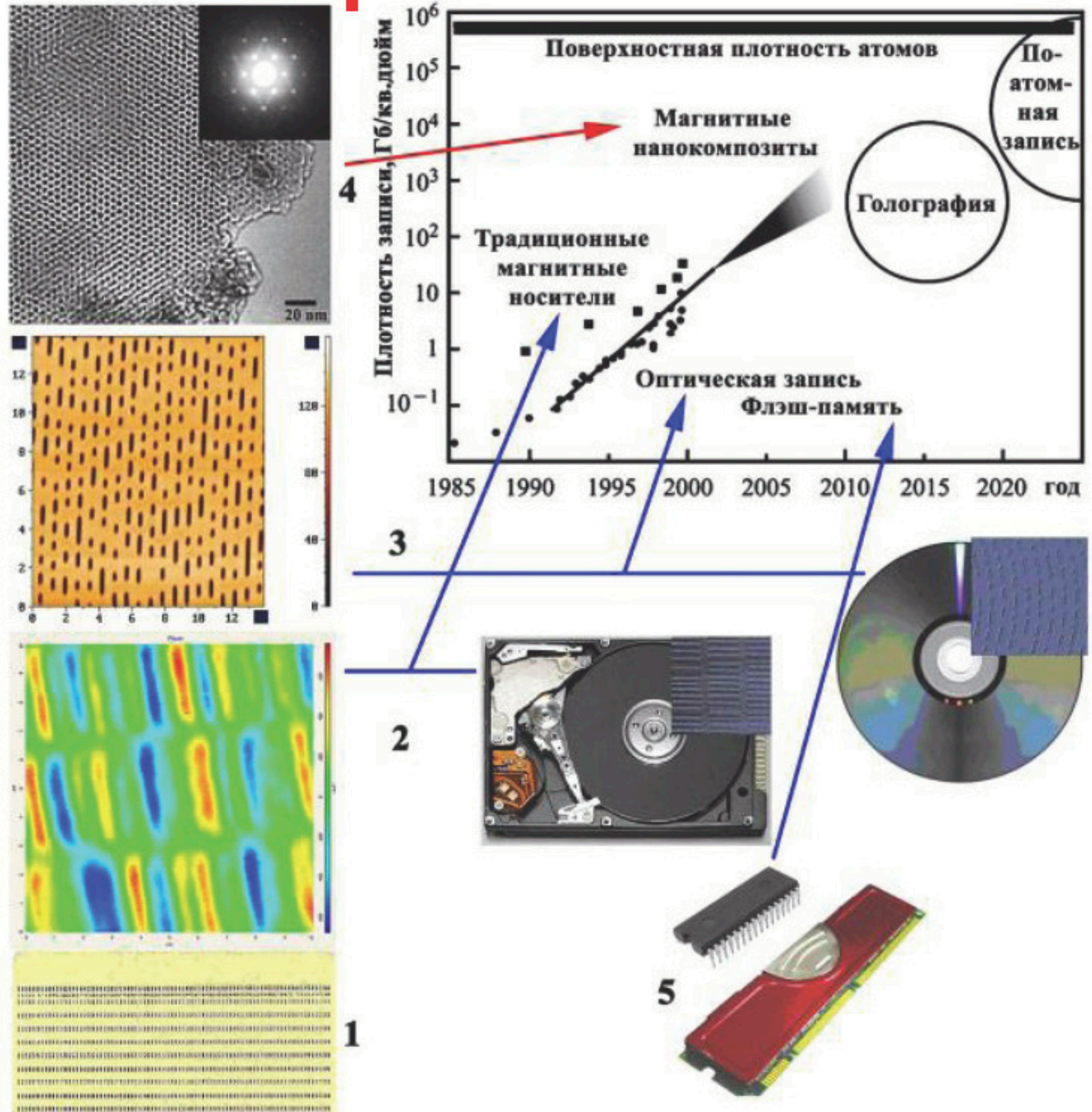
Информационные технологии и наноэлектроника

Нанопроволока Fe в мезопористом SiO_2

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



Композитная магнитная нанопроволока (электроосаждение в порах анодированного алюминия)



Материалы электроники

64 Гб = 25 нм

(линейный размер записывающих элементов «флэшки» на 64 Гб составляет в среднем 25 нм)

nature materials
LETTERS
PUBLISHED ONLINE: 10 NOVEMBER 2014 | DOI: 10.1038/NMAT4135

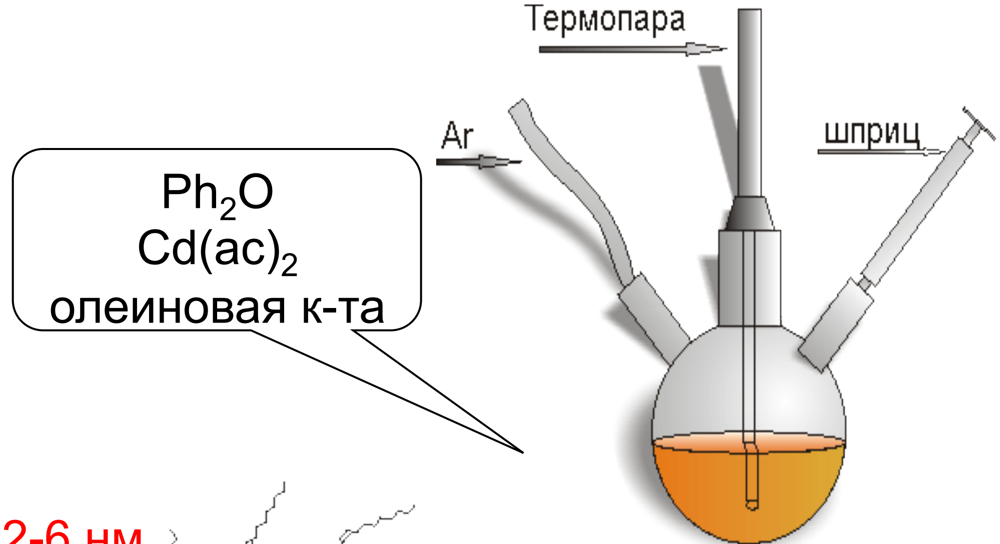
(импакт-фактор в 2016 г. – 38.9)

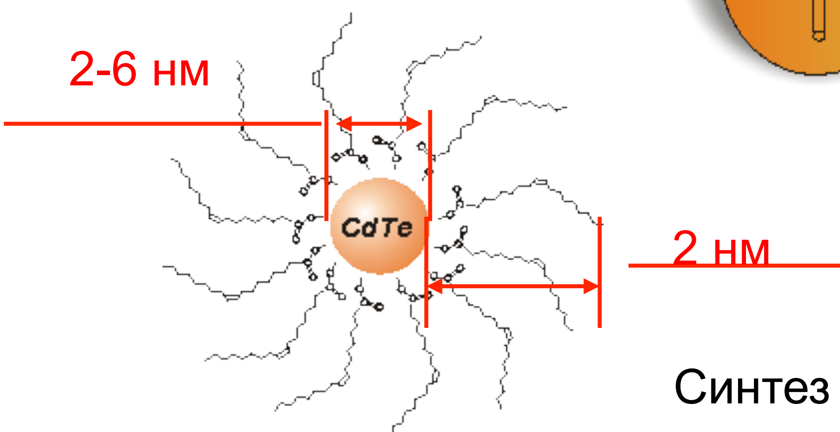
Layered memristive and memcapacitive switches for printable electronics

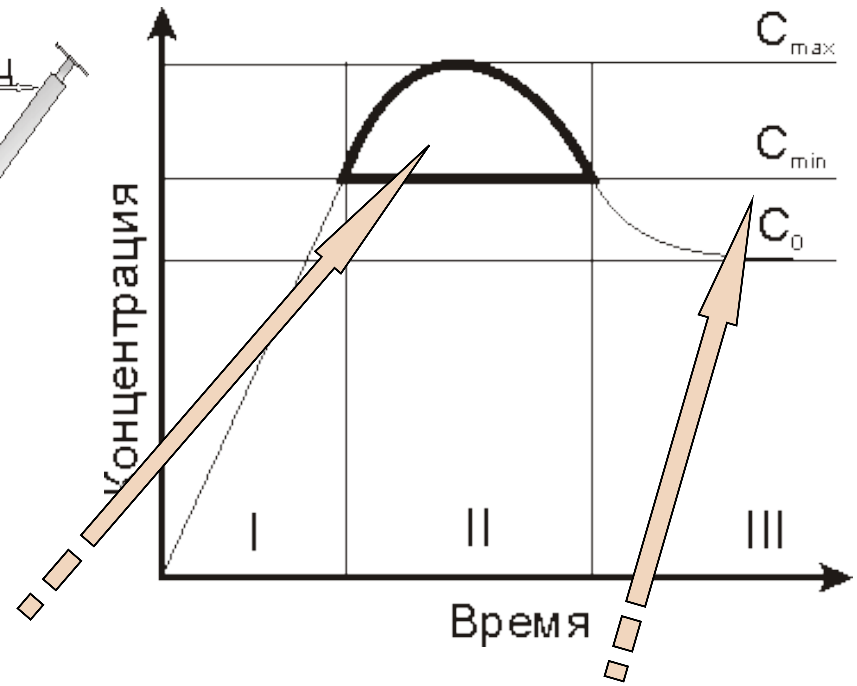
Alexander A. Bessonov[1*], Marina N. Kirikova[1], Dmitrii I. Petukhov[1,2], Mark Allen[3], Tapani Ryhänen[3] and Marc J. A. Bailey[1]

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).

Химический синтез квантовых точек







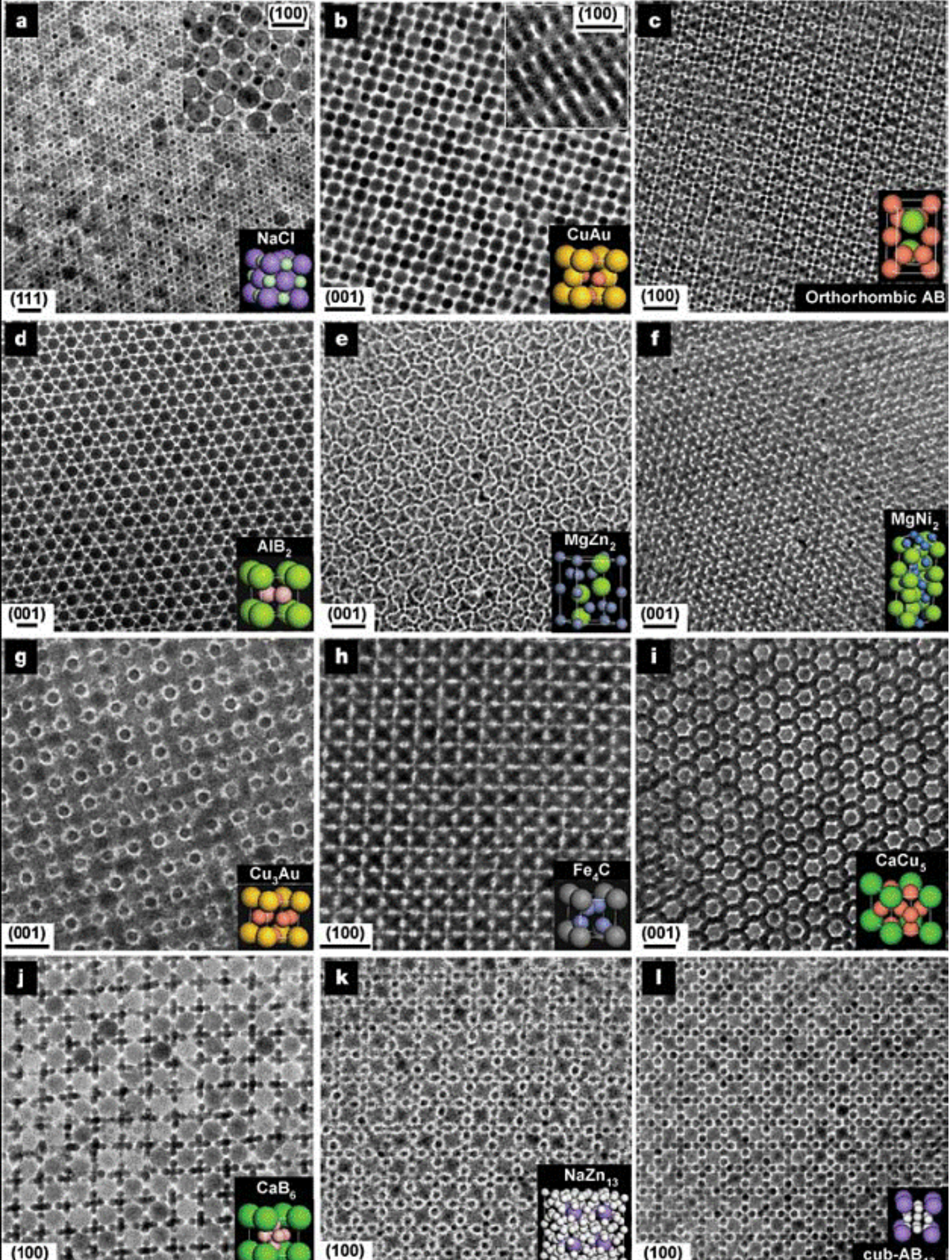
Синтез наночастиц CdTe проводился в режиме пересыщения (II)

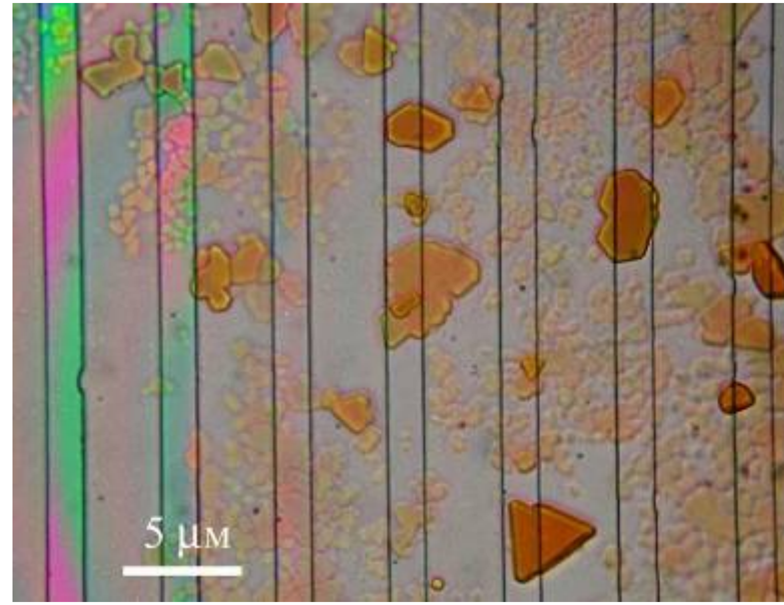
Синтез гетероструктур ядро-оболочка проводился в режиме III методом наращивания на ядре CdTe слоя CdSe.

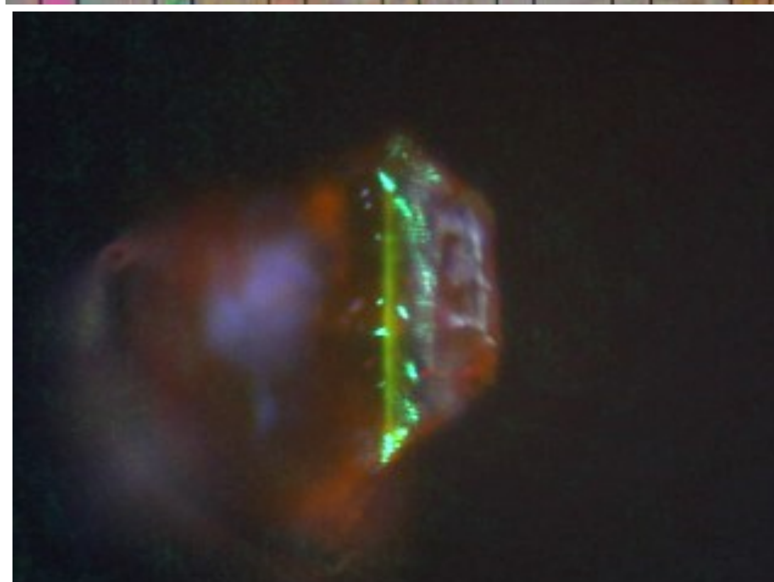
- мин. время
- мах. пересыщение

-> монодисперсная система

Самосборка наноструктур

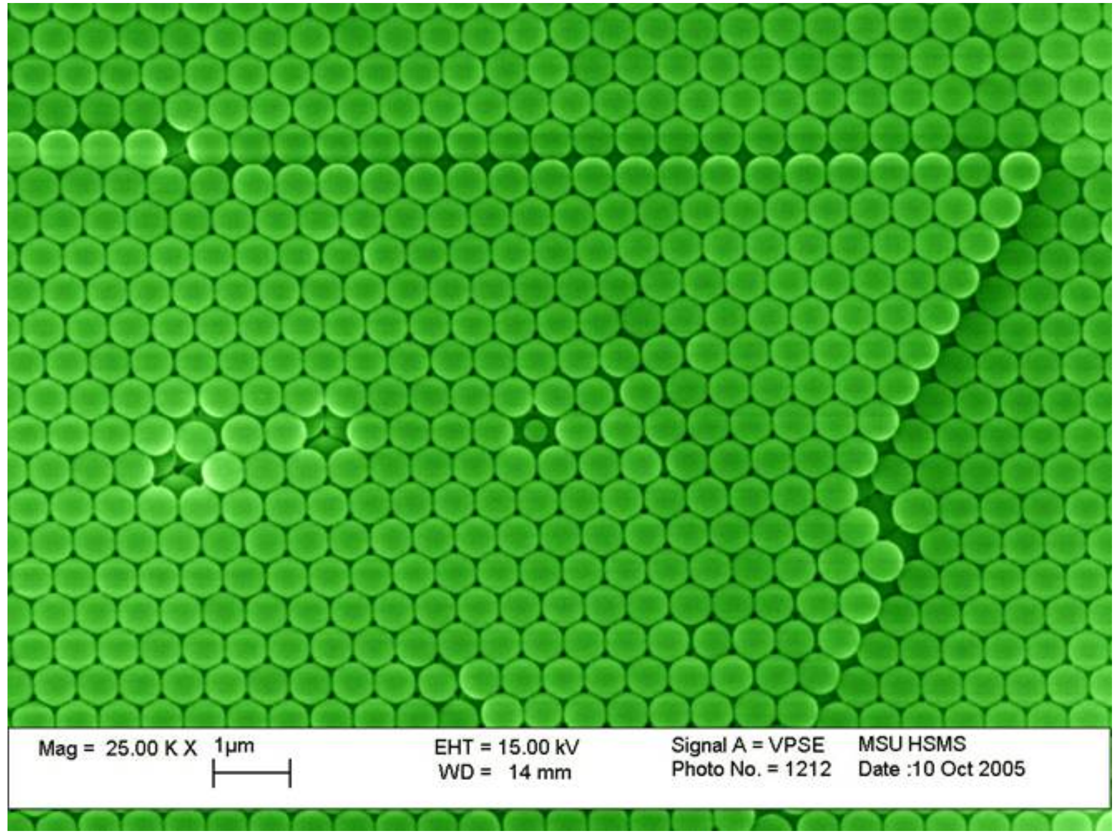


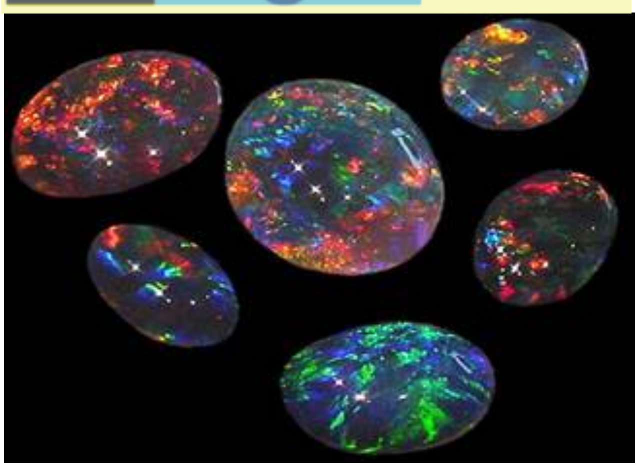


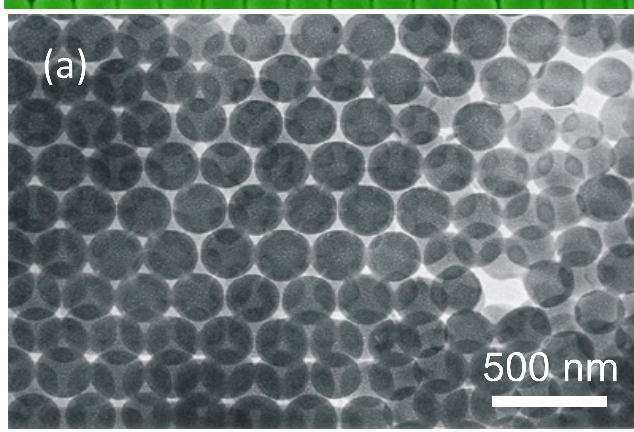


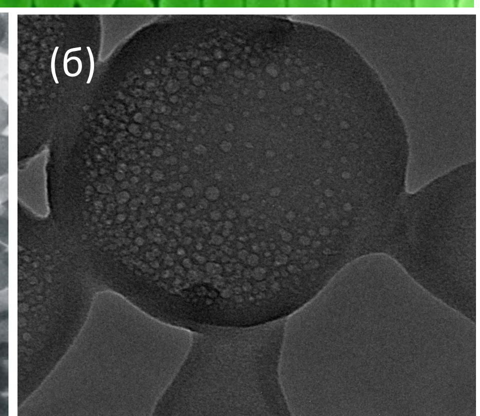
Коллоидный кристалл из квантовых точек (ФНМ МГУ)

Фотонный кристалл

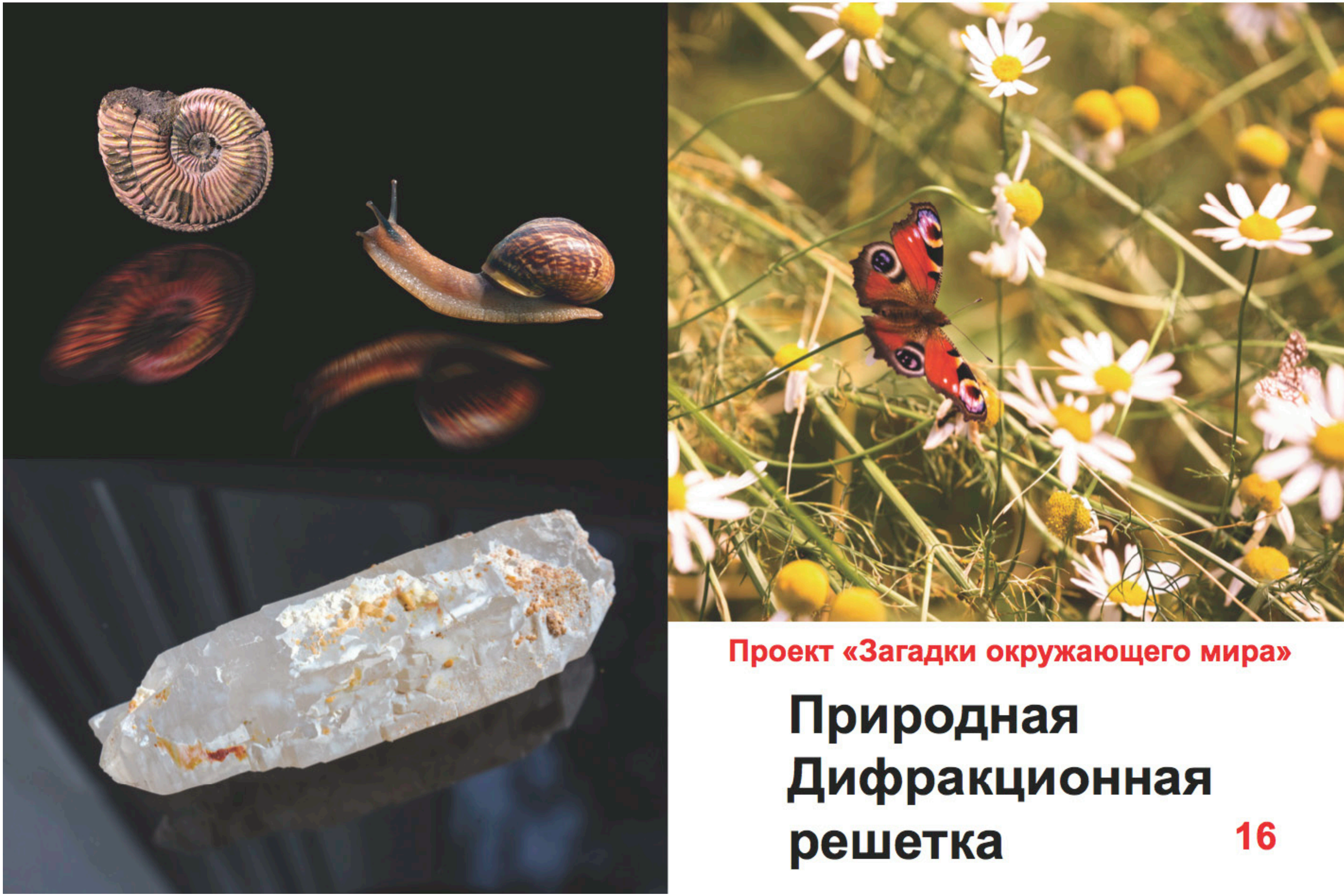




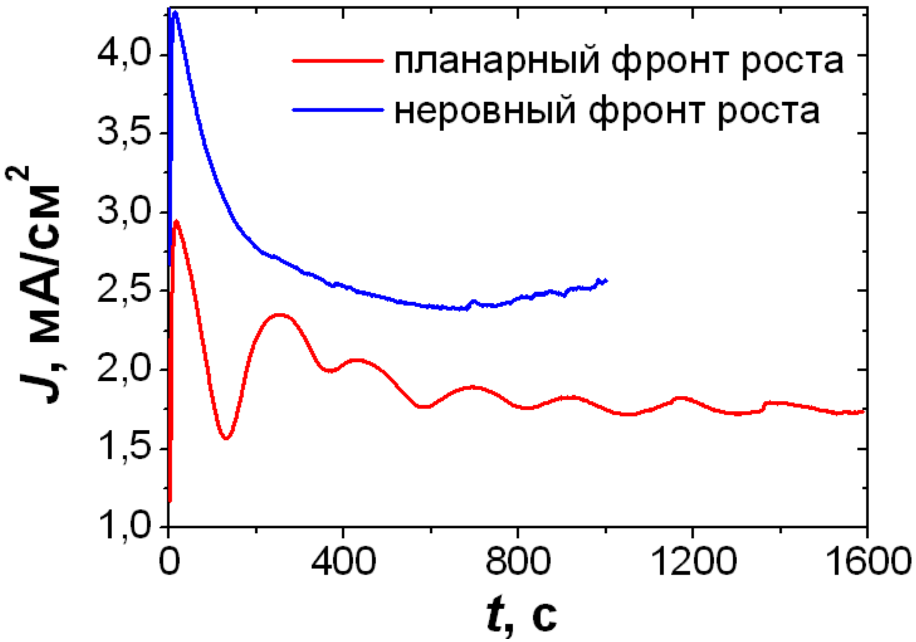




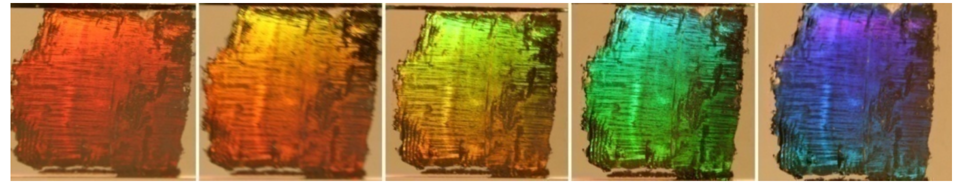
Структура опала

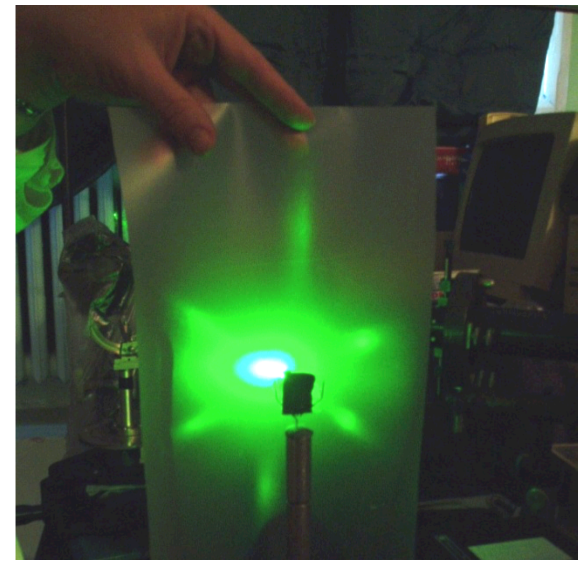


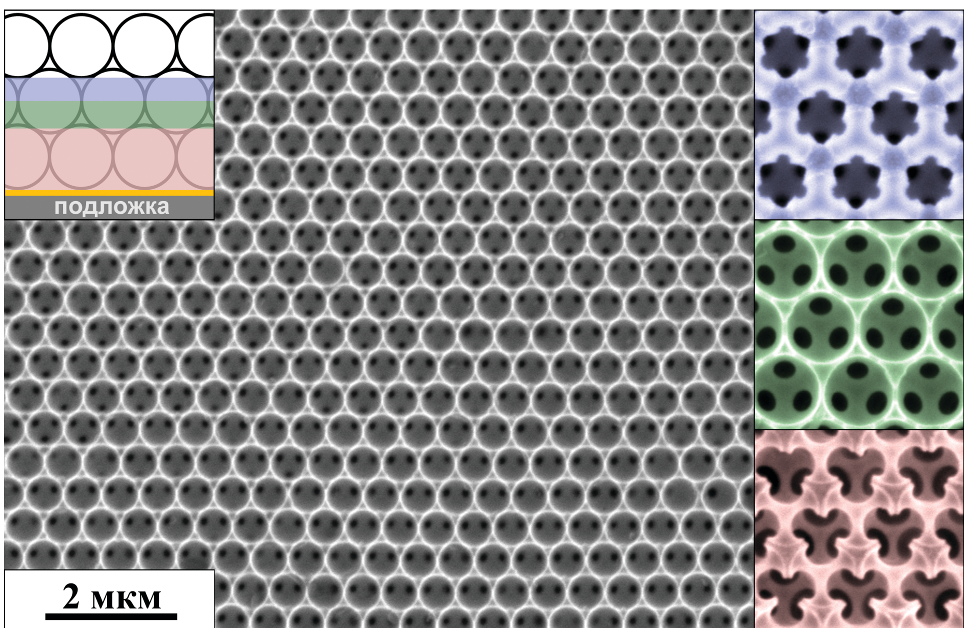
Фотоника



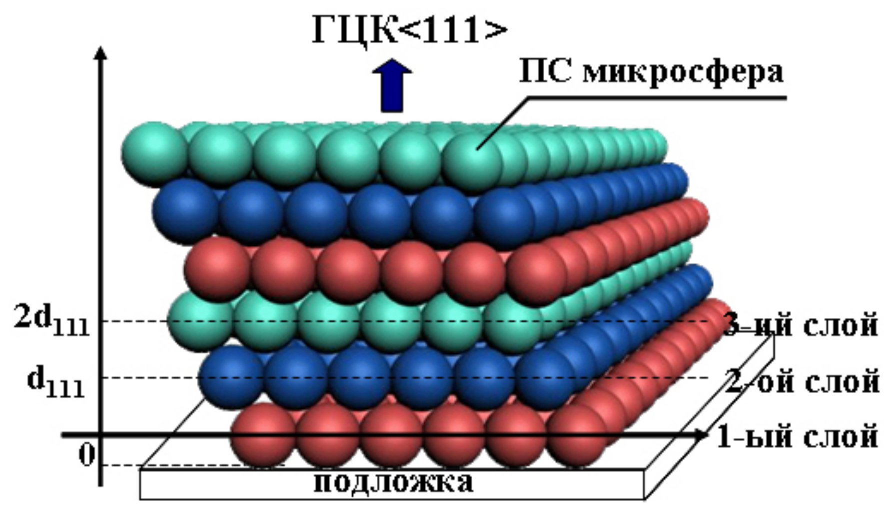
планарный фронт роста
неровный фронт роста
J, мА/см²
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
0
400
800
1200
1600
t, с





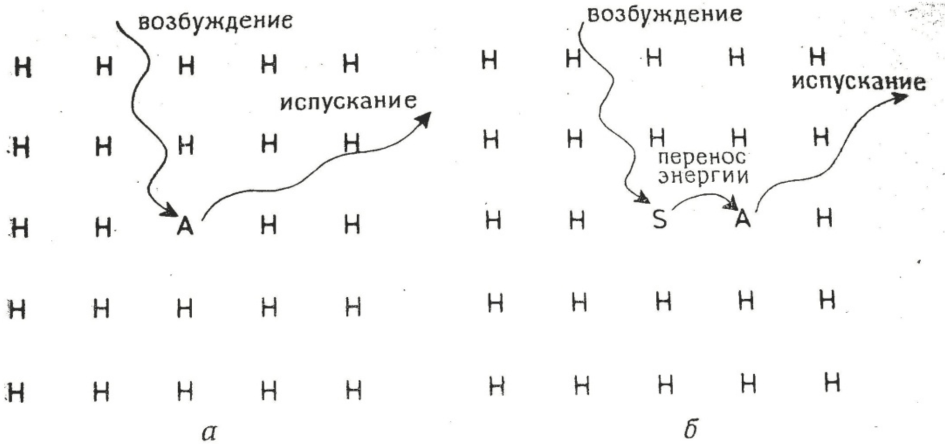


подложка
2 мкм



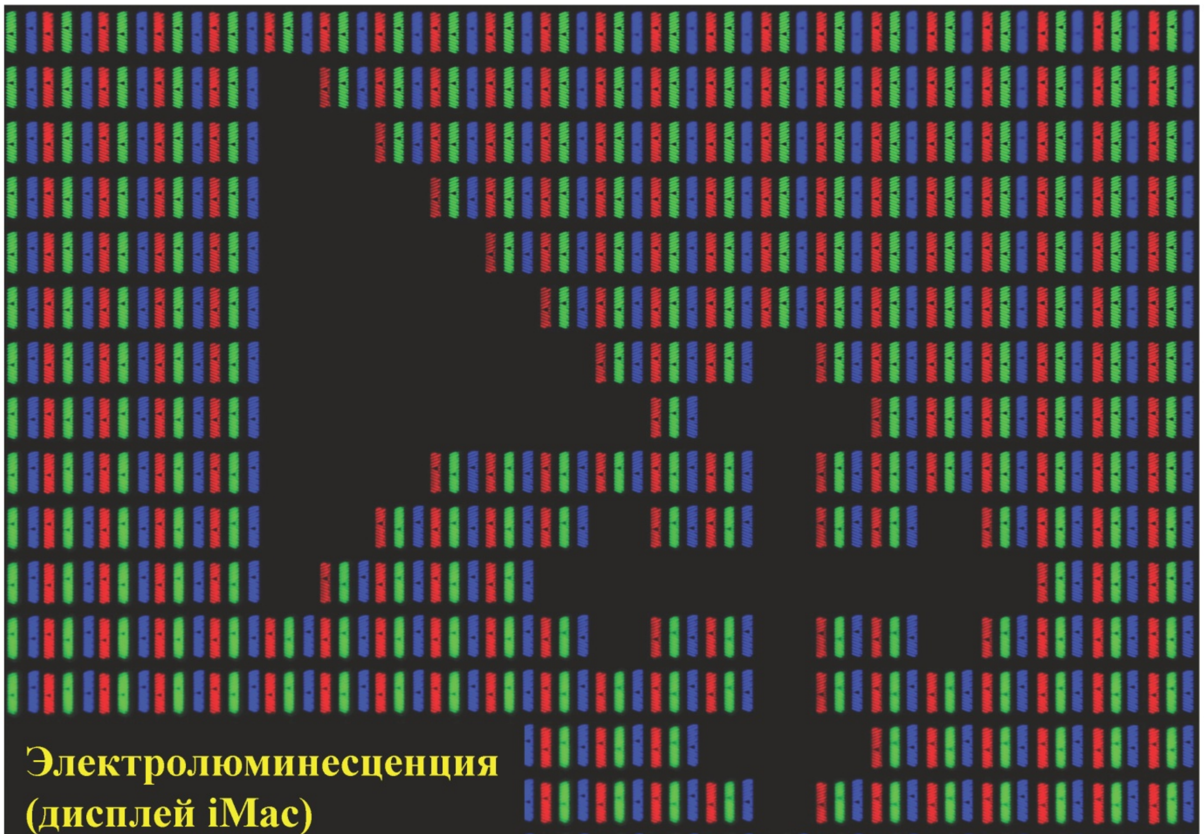
ГЦК<111>
ПС микросфера
$2d_{111}$
d_{111}
0
3-ий слой
2-ой слой
1-ый слой
подложка

Люминесценция

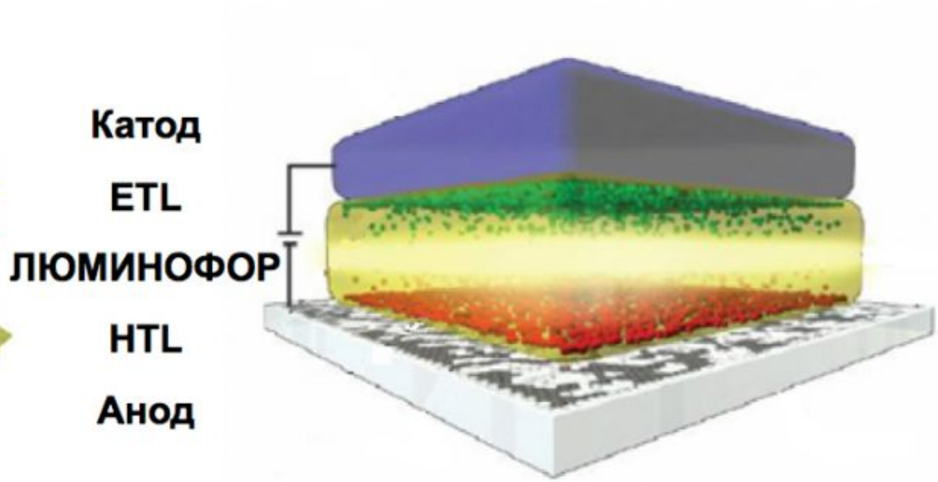


Фотолюминесценция

а — в кристаллическую решетку основы Н введен активатор А; *б* — в кристаллическую решетку основы Н введены активатор А и сенсибилизатор S.

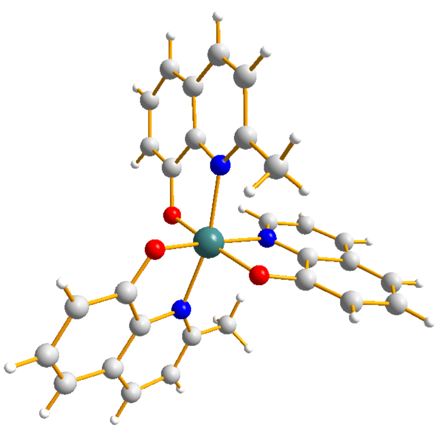


Строение органического светодиода

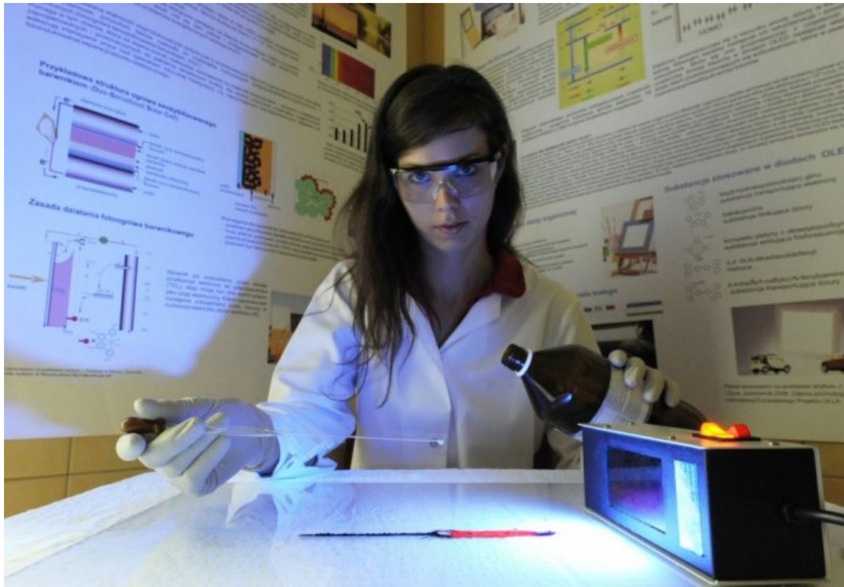


ETL – электронпроводящий слой

HTL – дыркопроводящий слой

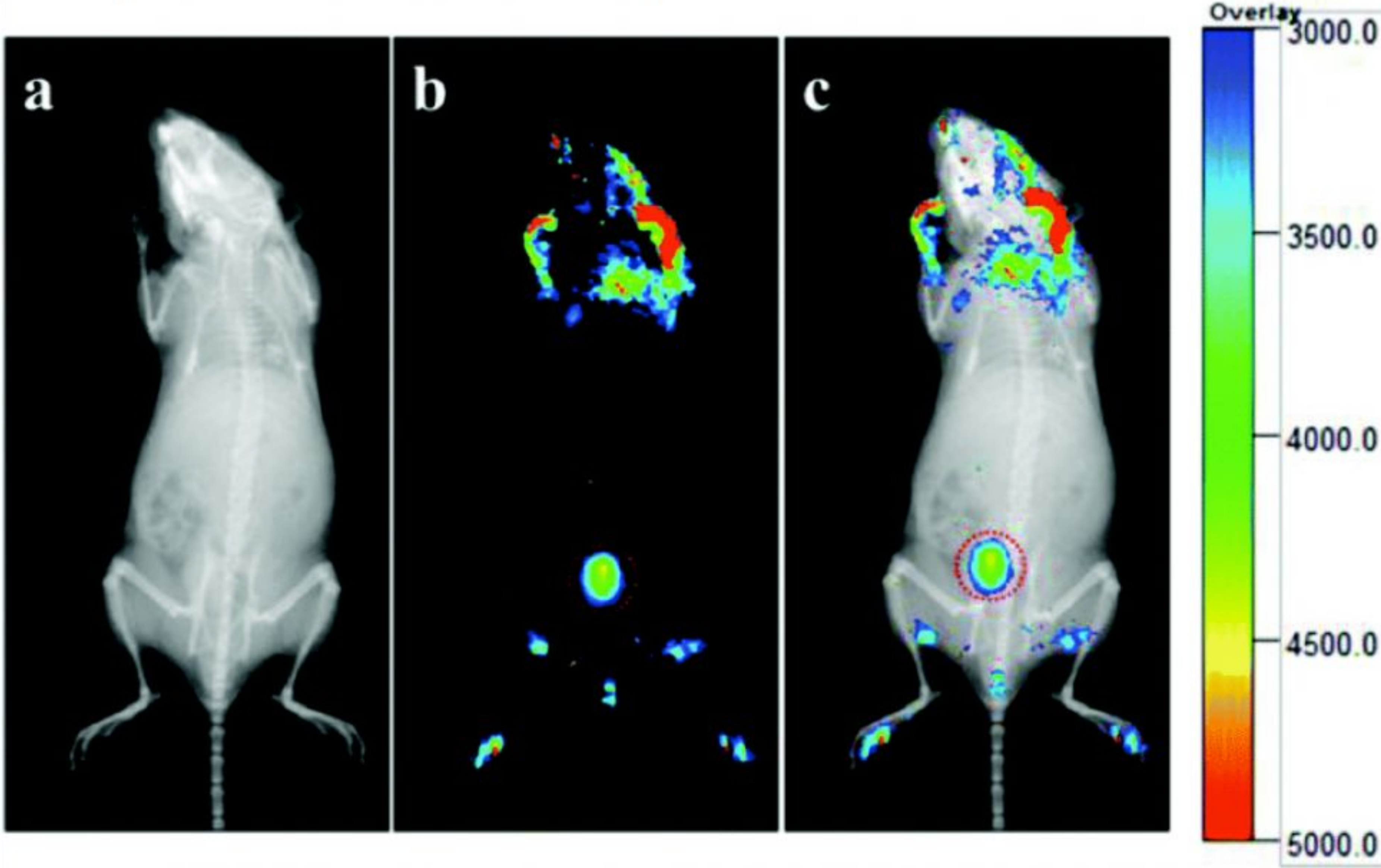


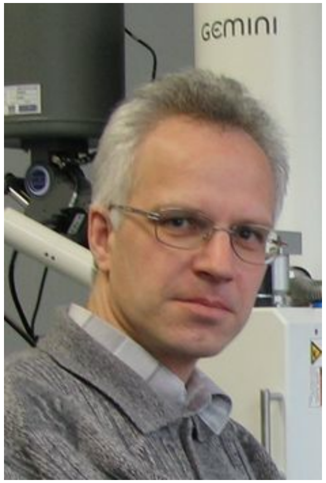
1987 г. (*C.W. Tang* и *S.A. VanSlyke*) - многослойное устройство на основе комплекса алюминия с 8-гидроксихинолином (AlQ3).



Биовизуализация

микроспоп люм. микроскоп наложение

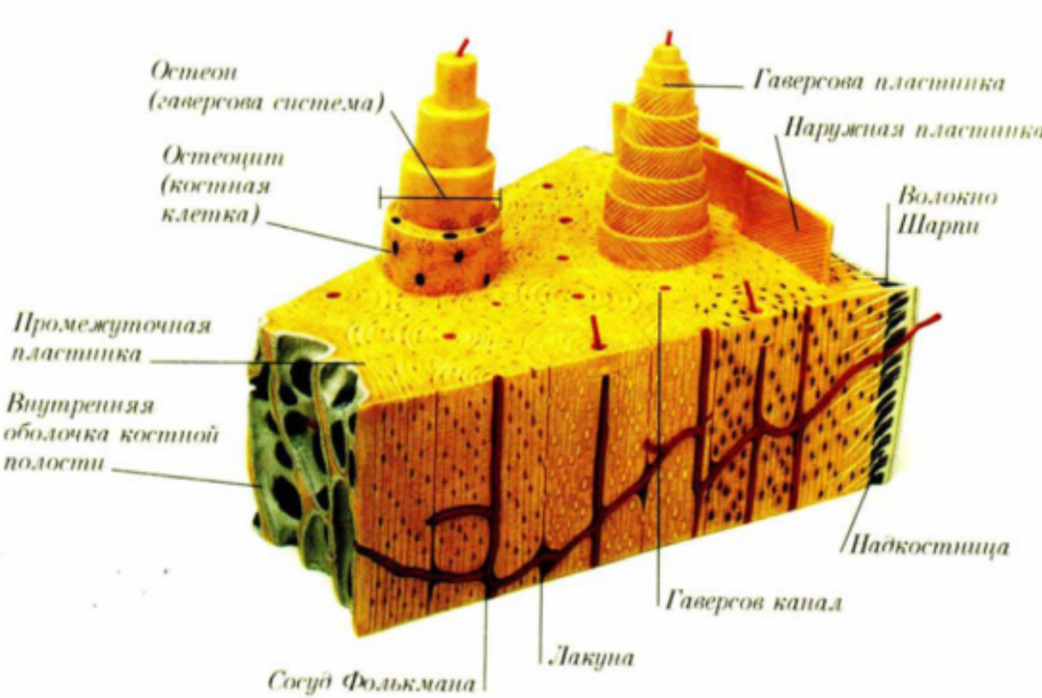


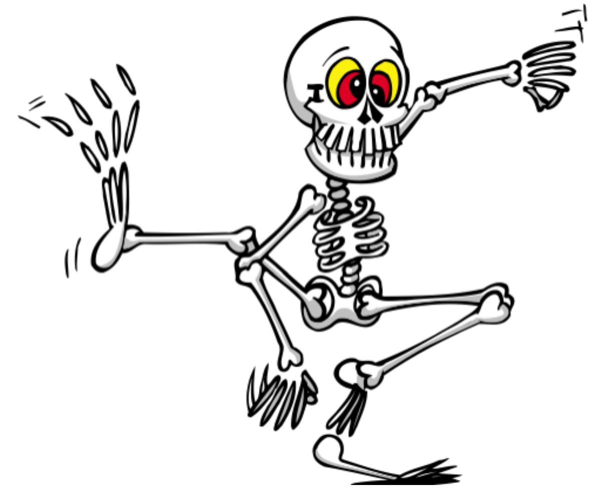


Доц., к.х.н.
В.И.Путляев и др.

Биоматериалы

- **Биоматериалы**: неорганическая химия оксидов и фосфатов (($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, $Ca_3(PO_4)_2$, $CaHPO_2(\bullet 2H_2O)$, $Ca_8(HPO_4)_2(PO_4)_4\ 5H_2O$, $Ca_2P_2O_7$, 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.





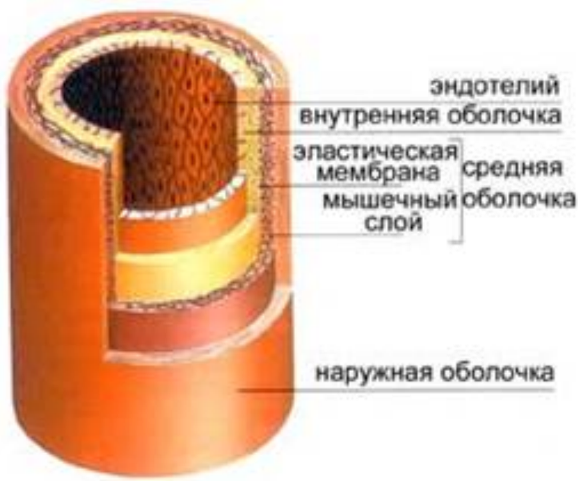
=10

(площадь монослоя чешуек гидроксилапатита из нашего скелета составит десять футбольных полей)

3D-печать остеокондуктивной биокерамики

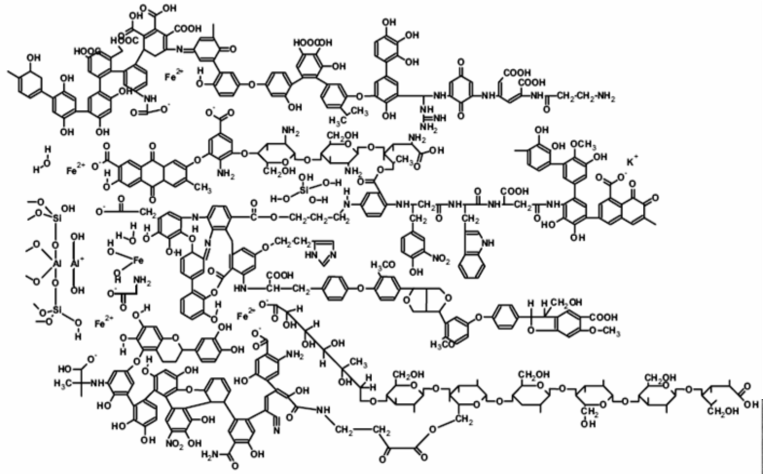
«Нанобио»

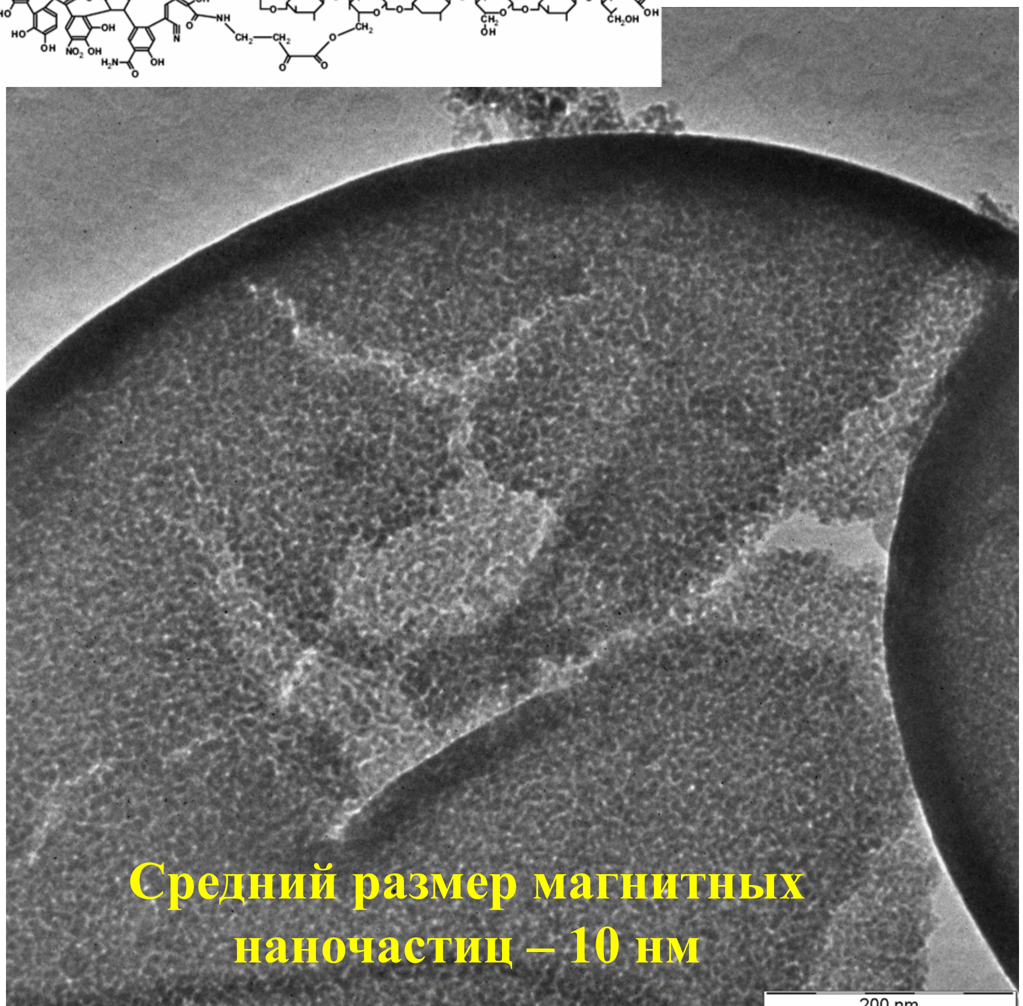
- Малый размер
  ⇒ могут проникать в капилляры, ткани и клетки
- Развитая поверхность
  ⇒ «контейнеры» для биологически активных в-в
  ⇒ частицы неорганических материалов можно сделать нетоксичными
  ⇒ свойства частиц зависят от состояния поверхности
- Необычные для свойства – магнитные и оптические



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

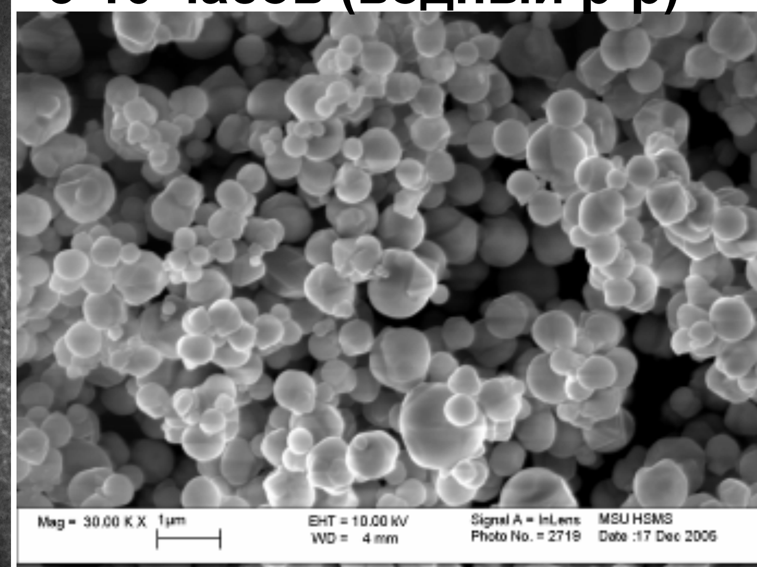
SPION / NaCl



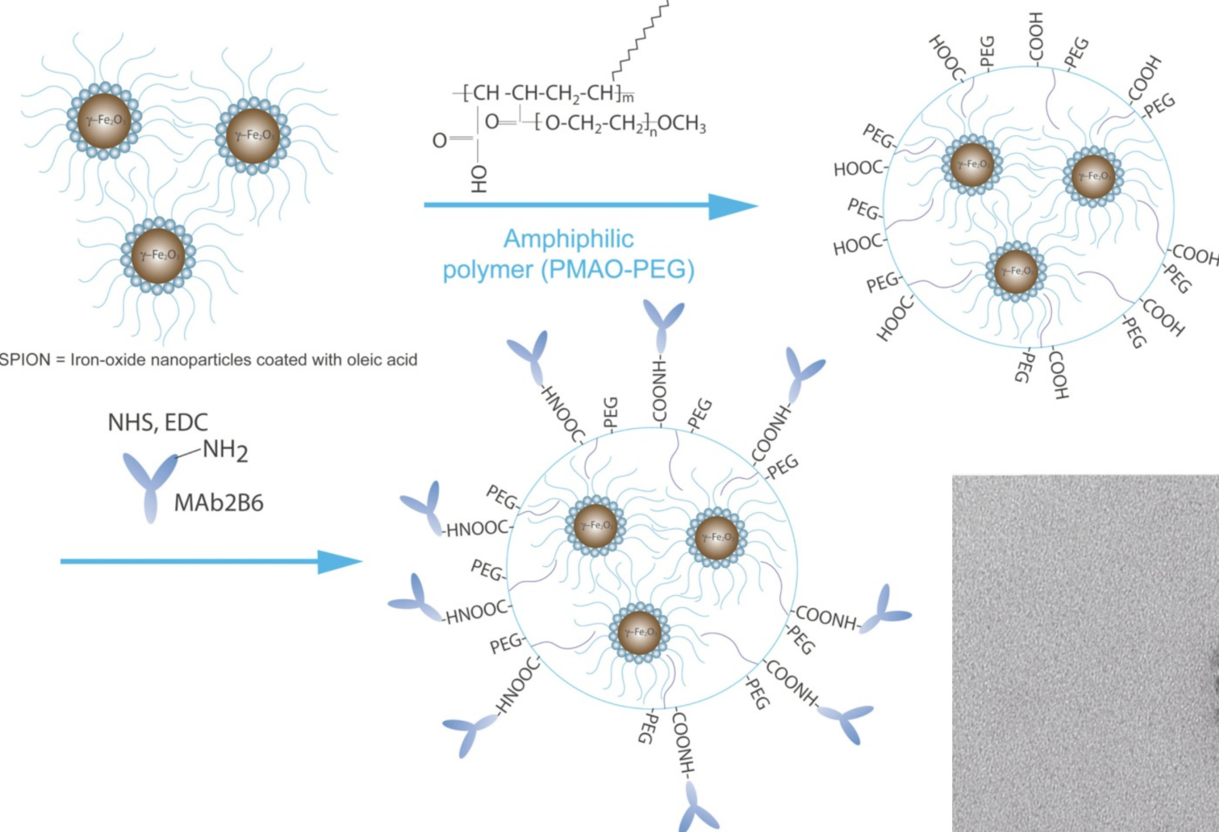


Средний размер магнитных наночастиц – 10 нм

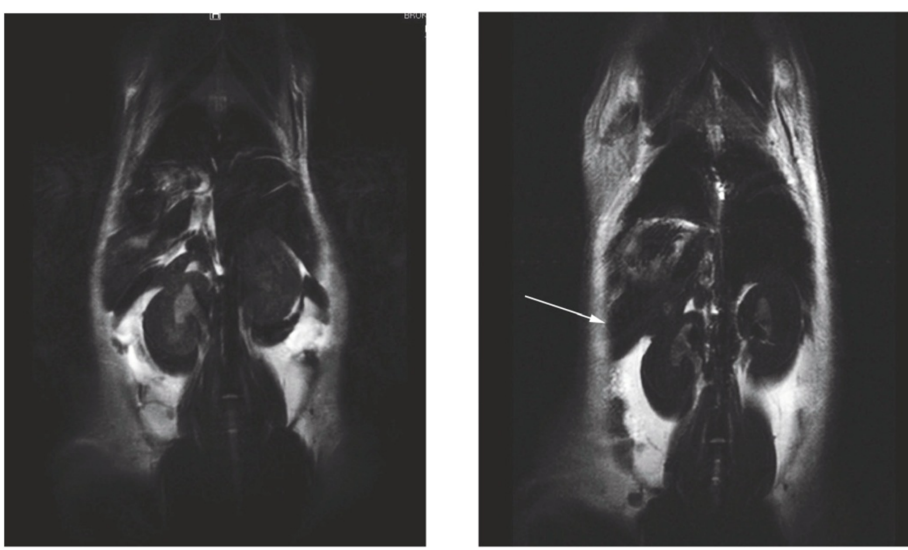
3-10 часов (водный р-р)

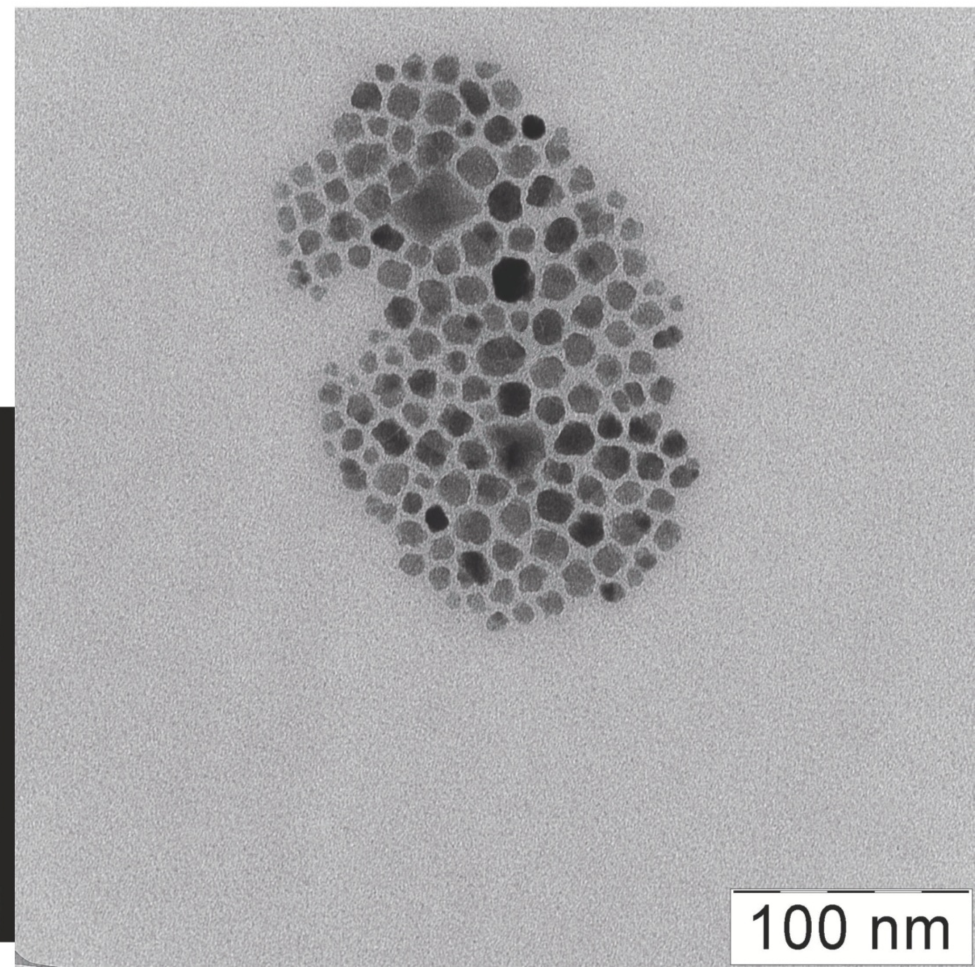


Субмикронные микросферы
NaCl : $\gamma - Fe_2O_3$

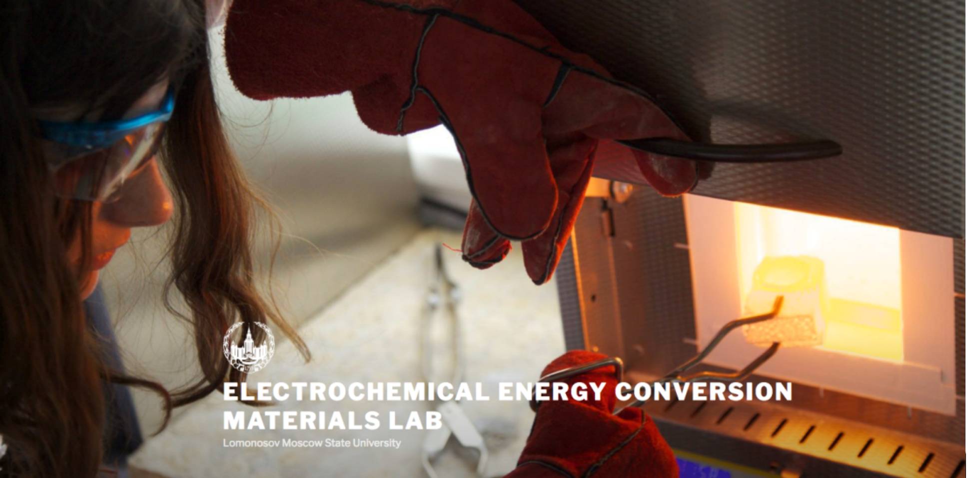


γ-Fe2O3
SPION = Iron-oxide nanoparticles coated with oleic acid
Amphiphilic
polymer (PMAO-PEG)
HOOC-
-PEG
-COOH
NHS, EDC
NH2
MAb2B6
-HNOOC-
COONH-

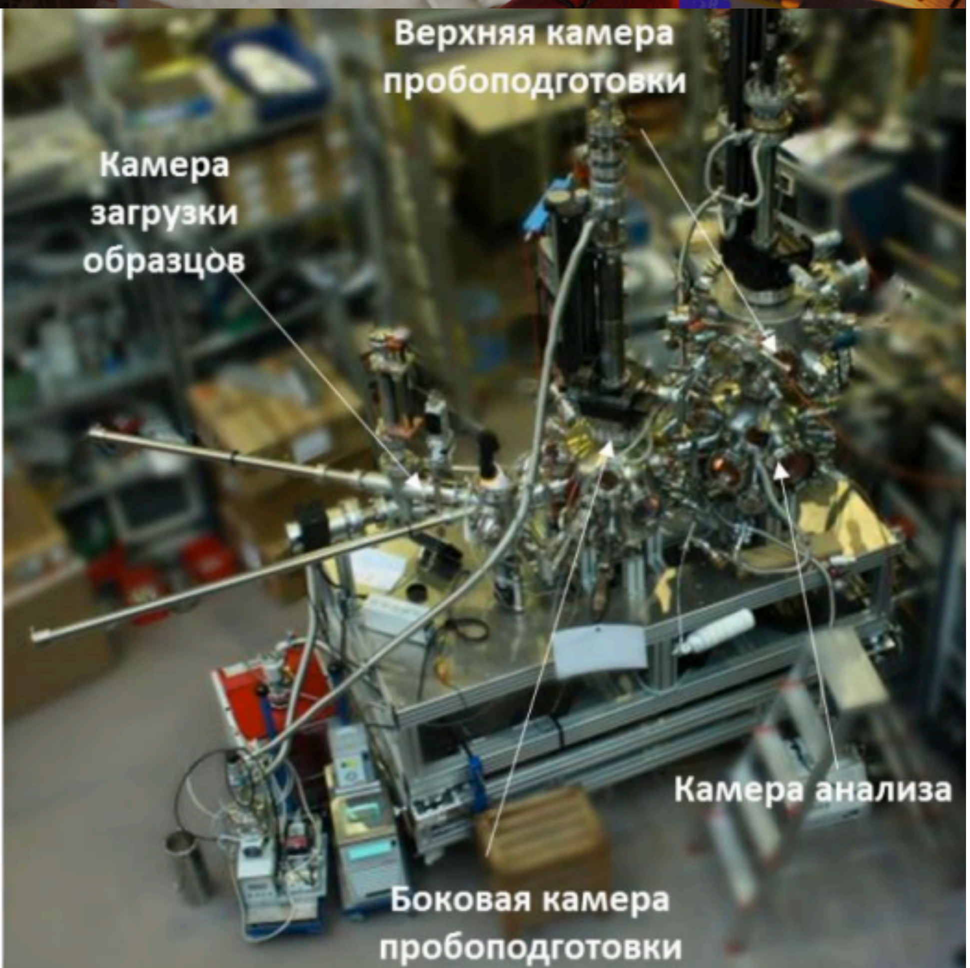




100 nm



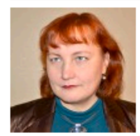
Лаборатория Электрохимических Материалов



Staff & PostDocs

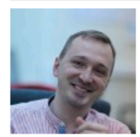
Dr. Daniil Itkis
senior research scientist
d.itkis@fmlab.ru

Dr. Elmar Kataev
junior research scientist
e.kataev@fmlab.ru



Dr. Lada Yashina
leading research scientist
yashina@inorg.chem.msu.ru

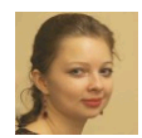
Dr. Olesya Kapitanova
junior research scientist
o.kapitanova@fmlab.ru



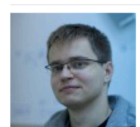
Dr. Victor Krivchenko
senior research scientist
victi81@mail.ru

PhD students

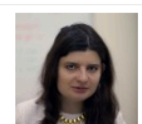
Alina Belova
a.belova@fmlab.ru
Research: Advanced in situ tools for electrochemical interfaces, Oxygen redox in aprotic media



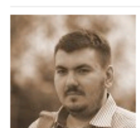
Anna Kozmenkova
a.kozmenkova@fmlab.ru
Research: Lithium-ion battery materials, Oxygen redox in aprotic media



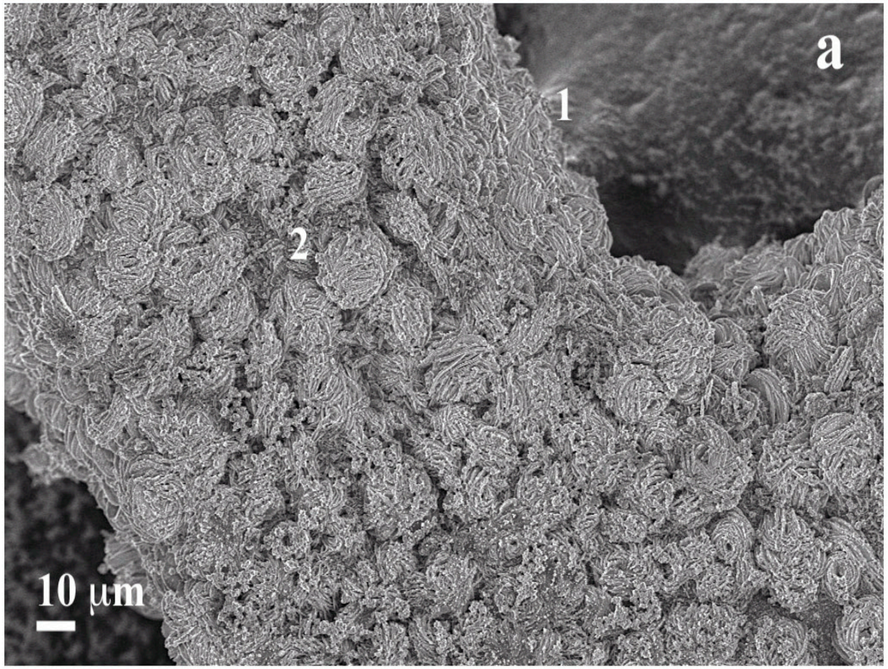
Artem Sergeev
a.sergeev@fmlab.ru
Research: Oxygen redox in aprotic media



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



Victor Vizgalov
v.vizgalov@fmlab.ru
Research: Solid lithium-ion conductors



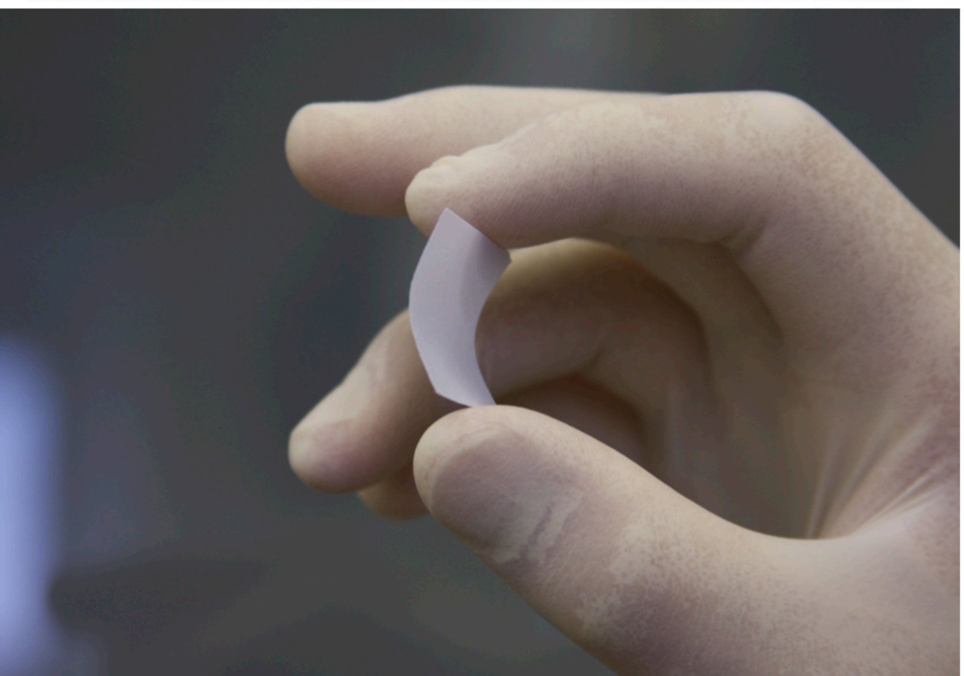
Горение на воздухе

$4Li + O_2 = 2\ Li_2O$

Литий – воздушный аккумулятор:

$Li + O_2 = \{LiO_2\}$

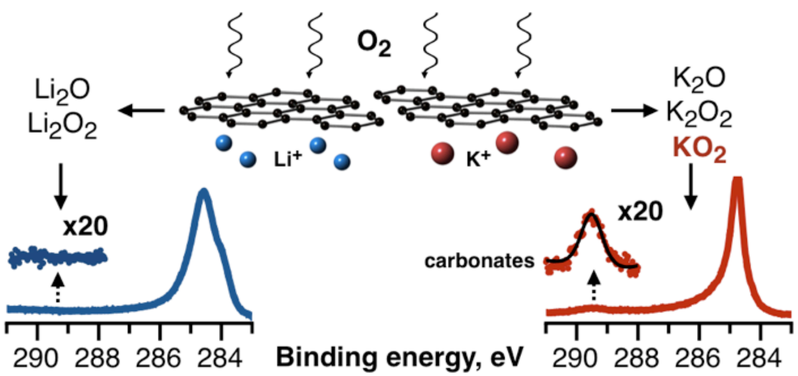
$2\ LiO_2 = Li_2O_2 + O_2$

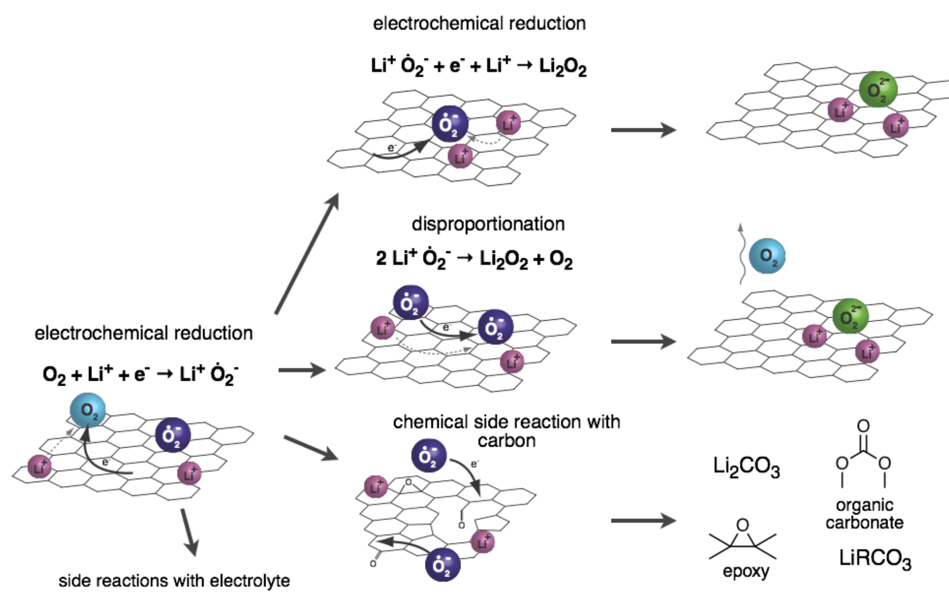


Электрохимическая энергетика

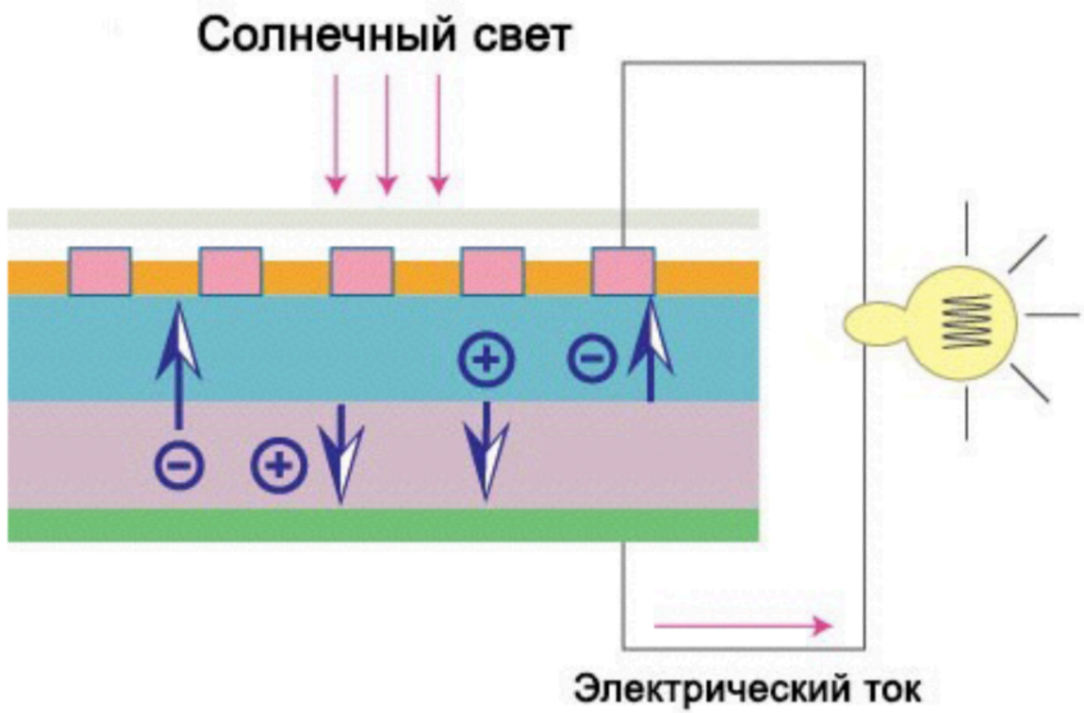
С.н.с.., к.х.н.
Д.М.Иткис и др.

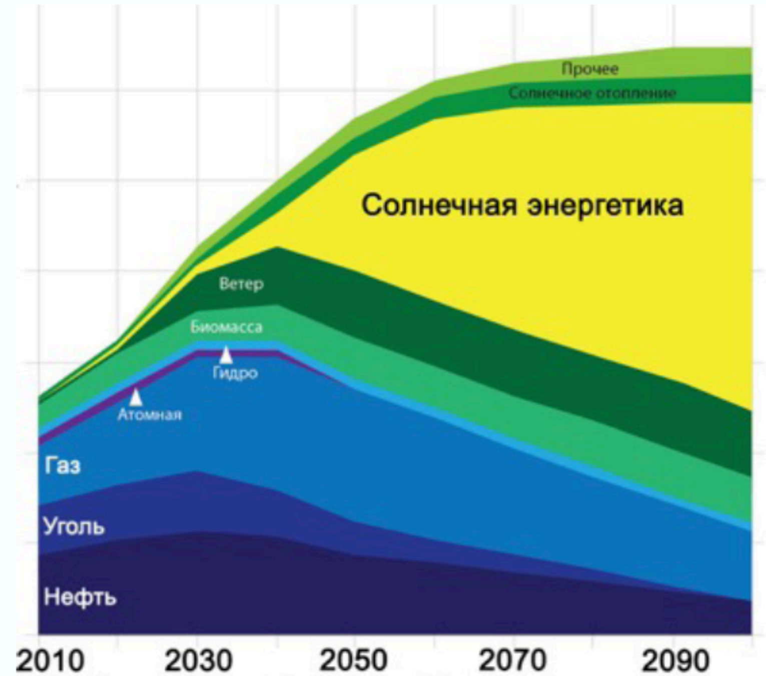
- проблемы создания перезаряжаемых литий-воздушных аккумуляторов,
- разработка высокоемких электродных материалов для интеркаляции лития,
- разработка новых твердых литий-проводящих электролитов,
- развитие методов инструментального анализа материалов и механизмов процессов в электрохимических источниках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





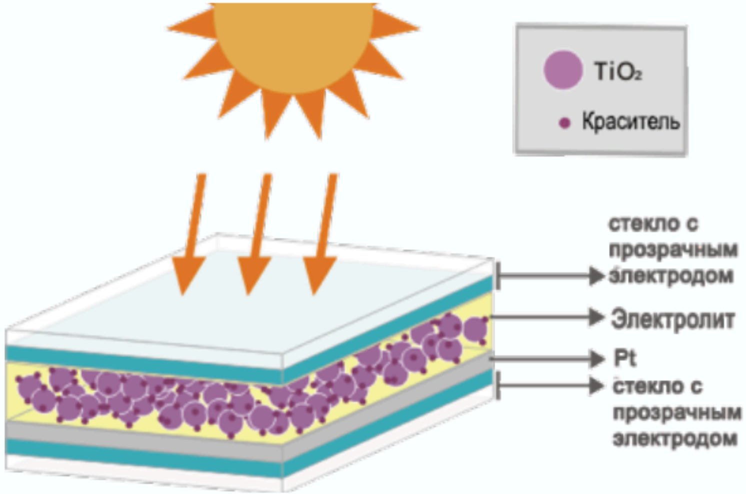
Солнце - самый перспективный источник безопасной энергии





Прогноз энергетического баланса до 2100 года

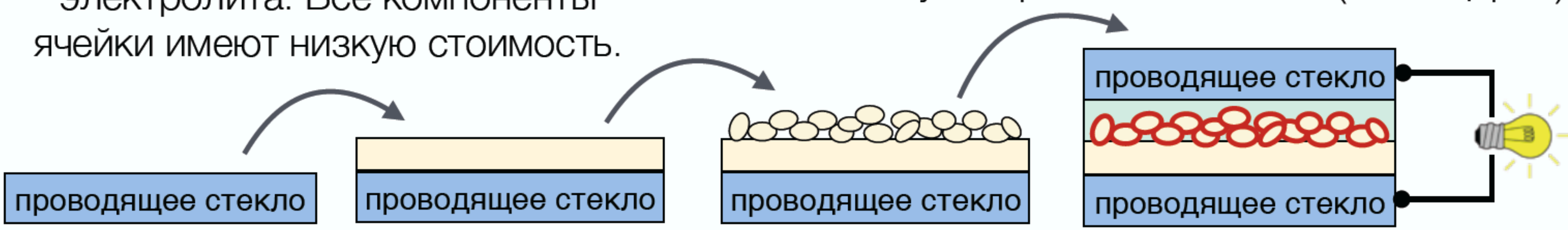
Солнечная батарея позволяет переводить энергию света в электричество



Ячейки Гретцеля состоят из электрон-проводящего материала (TiO_2), органического красителя и дырочно-проводящего жидкого электролита. Все компоненты ячейки имеют низкую стоимость.

Михаэль Гретцель держит в руках панель из сенсибилизированных красителем ячеек

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

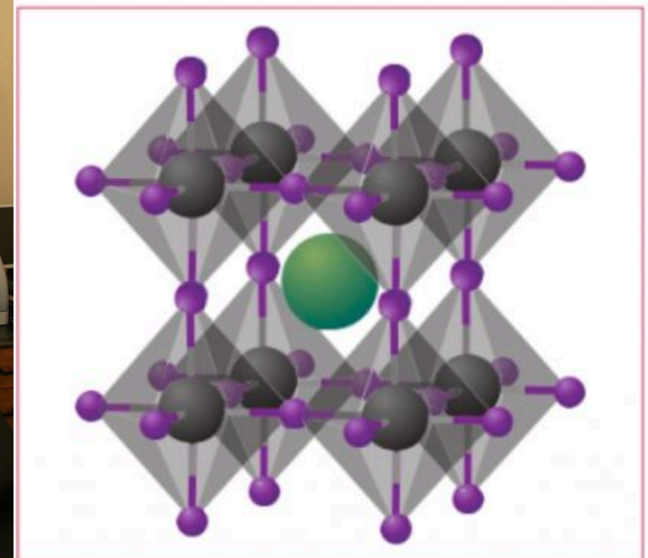


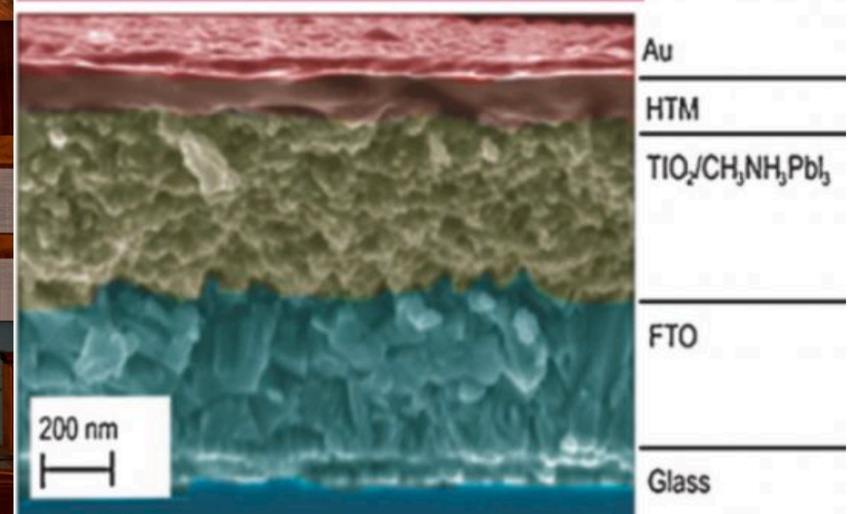
Нанесение блокирующего слоя TiO_2

Нанесение мезопористого слоя TiO_2

Нанесение красителя и жидкого электролита

Молодежная лаборатория
Новых Материалов для Солнечной Энергетики



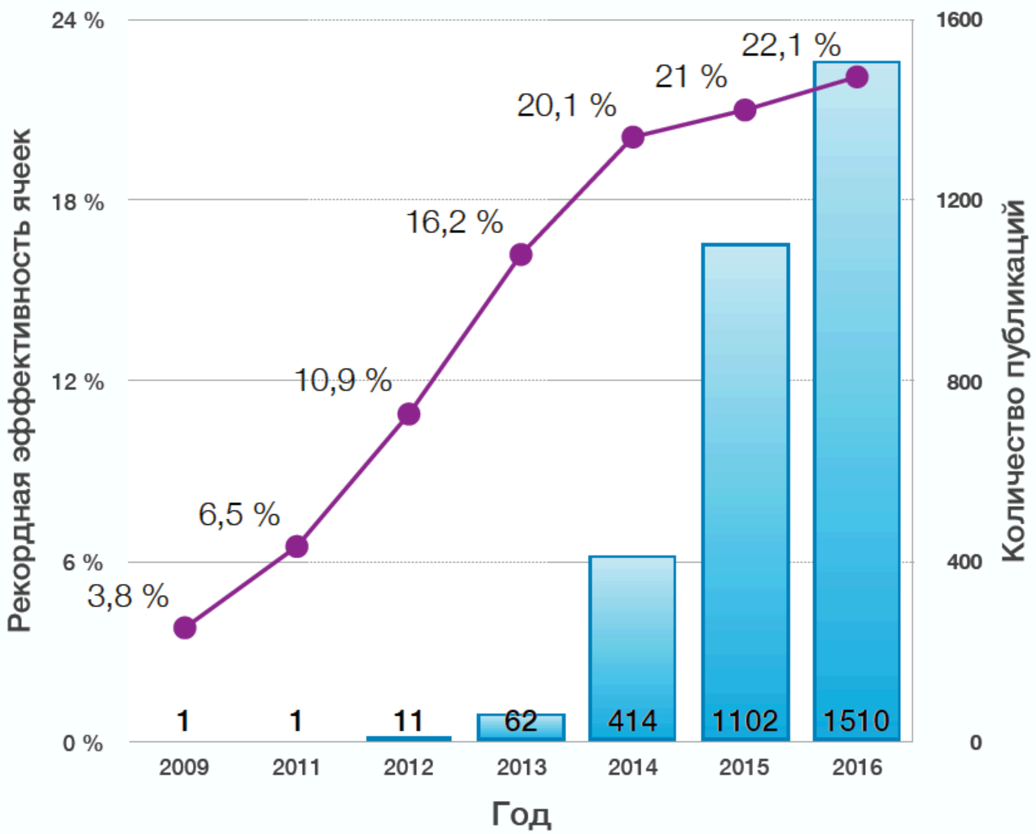


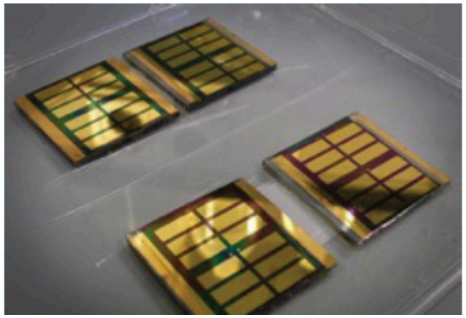
История развития перовскитных ячеек

1991 год
Михаэль Гретцель создал сенсибилизированные красителем солнечные ячейки (ячейки Гретцеля)

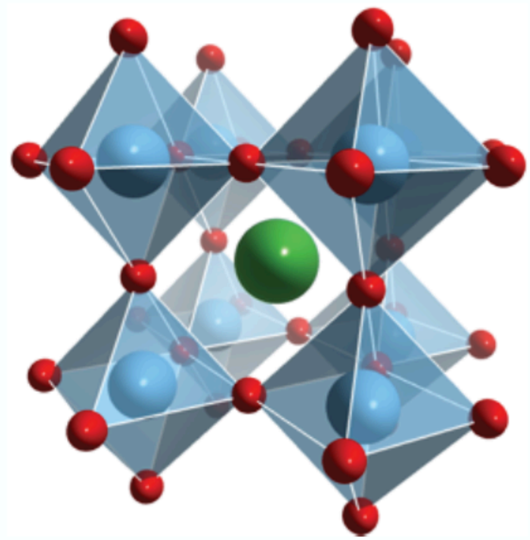
2009 год
Японский ученый Тсутому Миясака заменил органический краситель на перовскит в ячейке Гретцеля

2016 год
Перовскитные солнечные ячейки с рекордной эффективностью 22,1%





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



A B X_3

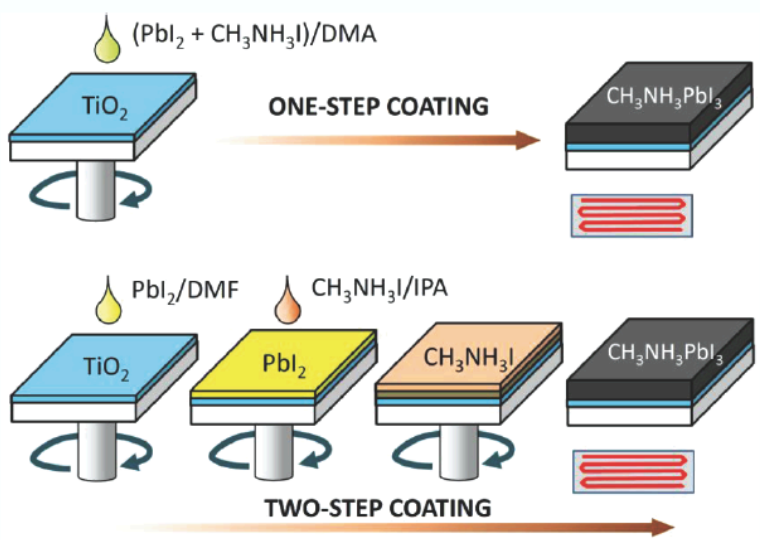
MA Pb I_3

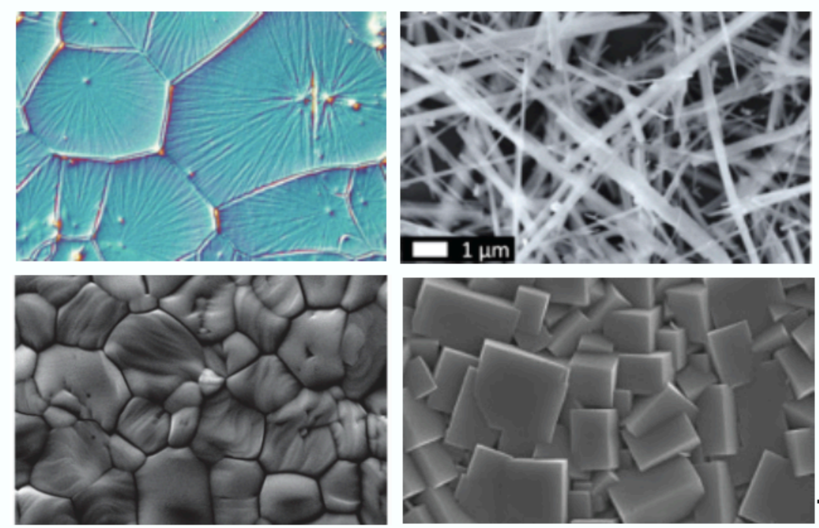
MA^+ - $CH_3NH_3^+$

FA^+ - NH_2-CH-NH_2^+

Cs^+ и др.

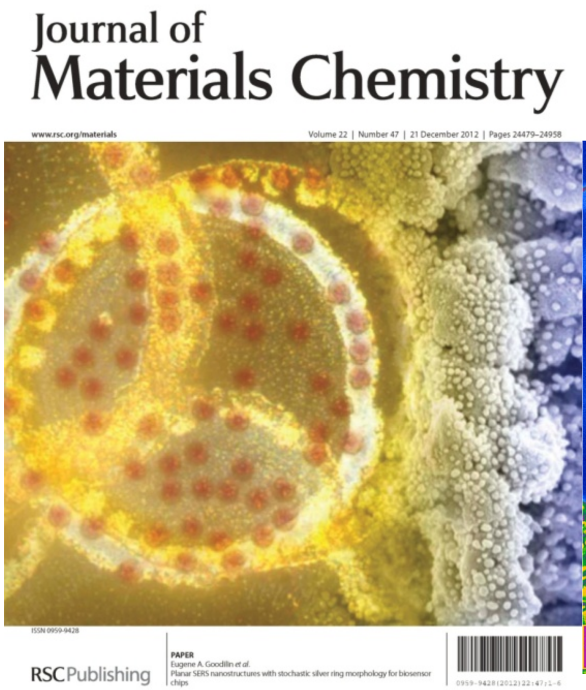
$$\boxed{\mathbf{PbI_2 + CH_3NH_3I = CH_3NH_3PbI_3}}$$

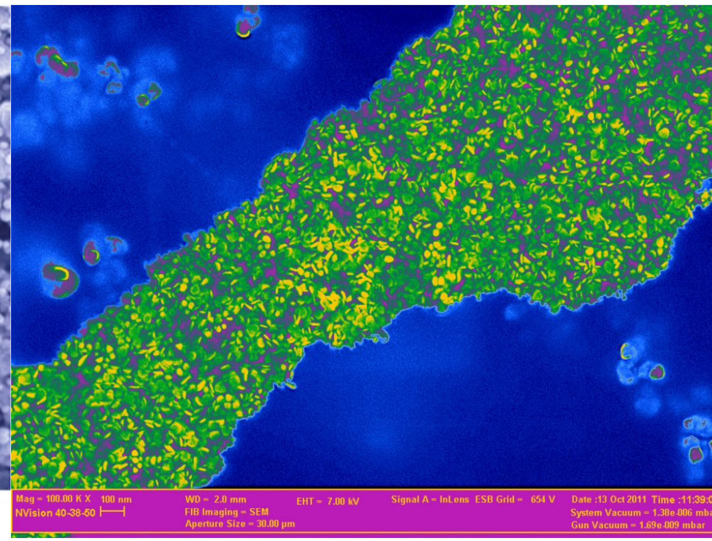




Проект по солнечной энергетике
на проектной смене ОЦ «Сириус»

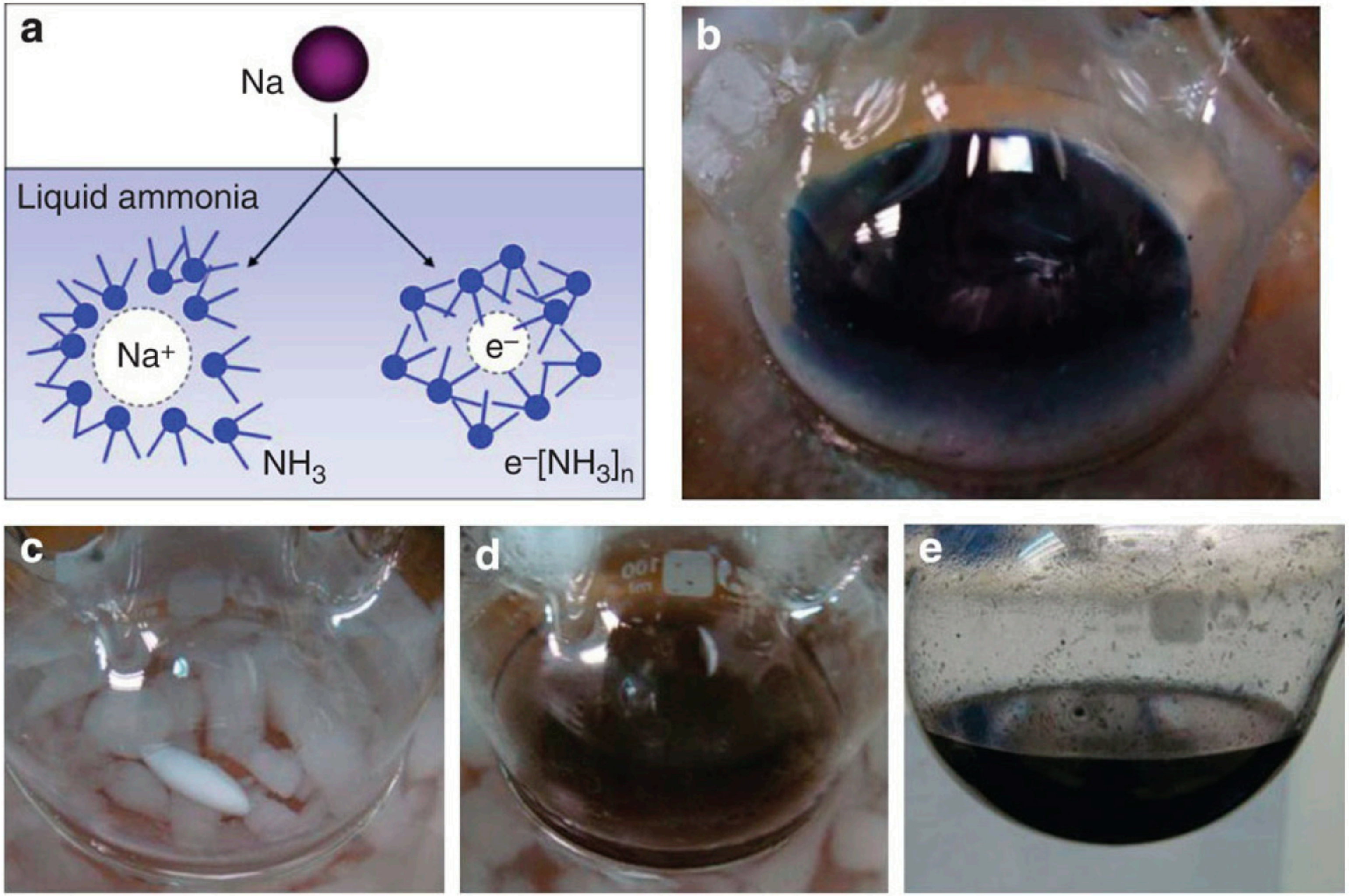
Наночастицы благородных металлов



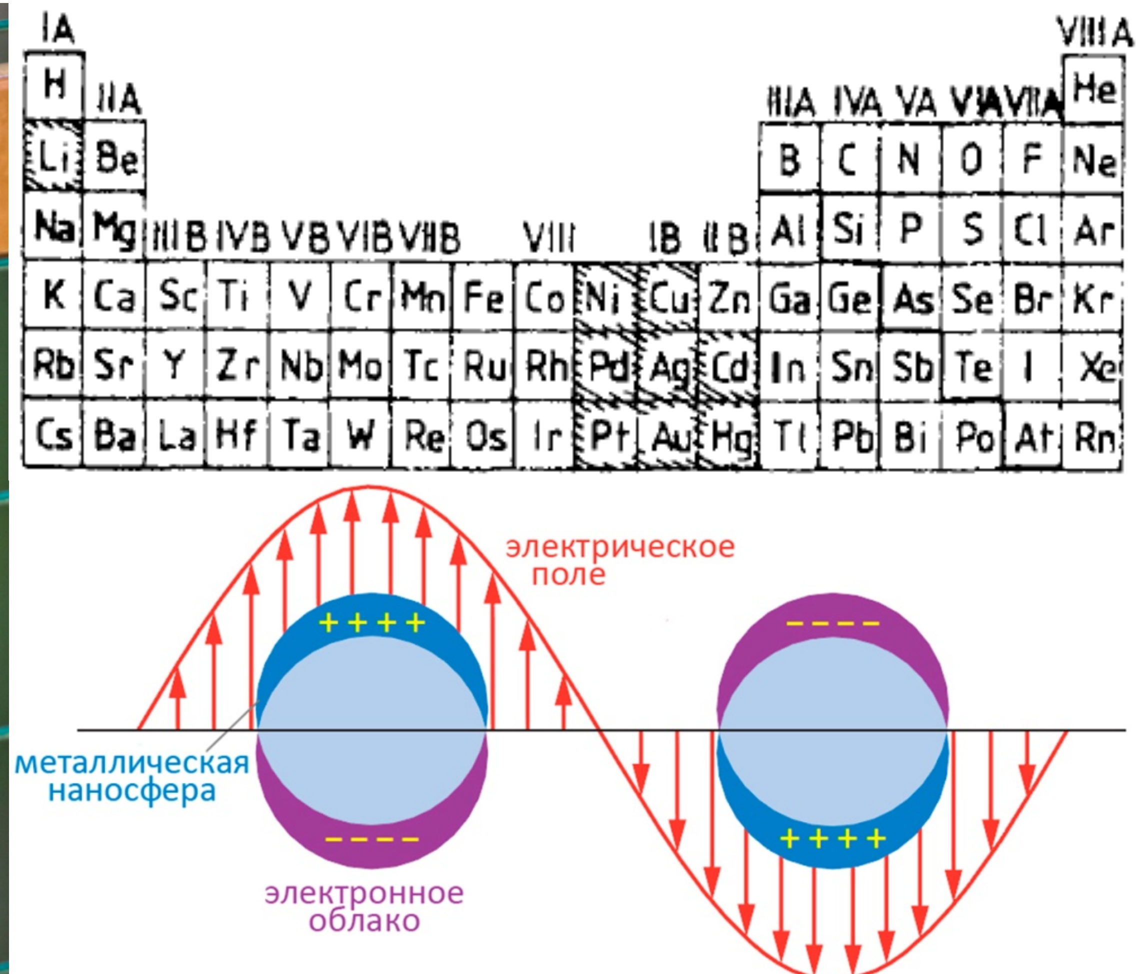


- десятки способов контролируемого восстановления
- легкость получения ультрадисперсных систем заданной концентрации и с контролируемой морфологией дисперсной фазы
- низкая токсичность и цитотоксичность наночастиц
- надежная модификация поверхности (тиолы, амины)
- широкий диапазон структурно – чувствительных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

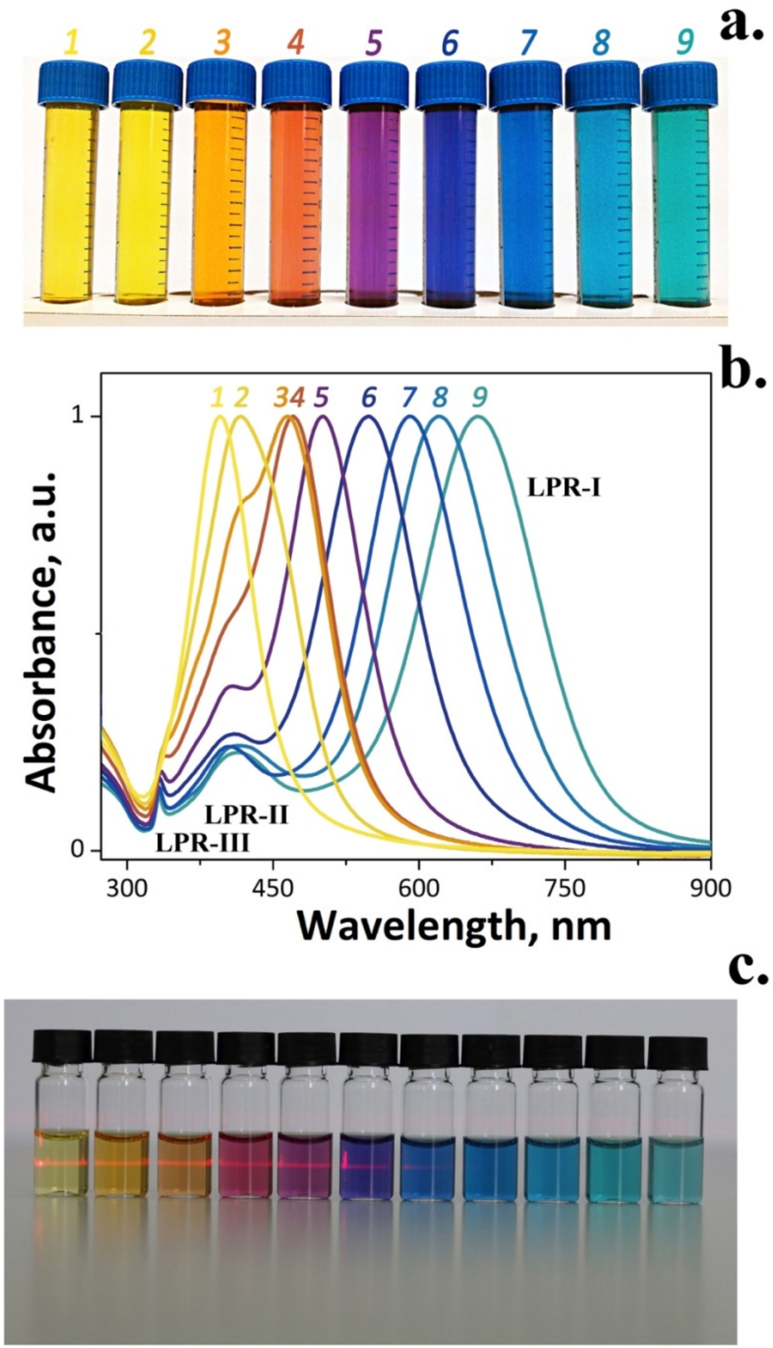
Поляроны

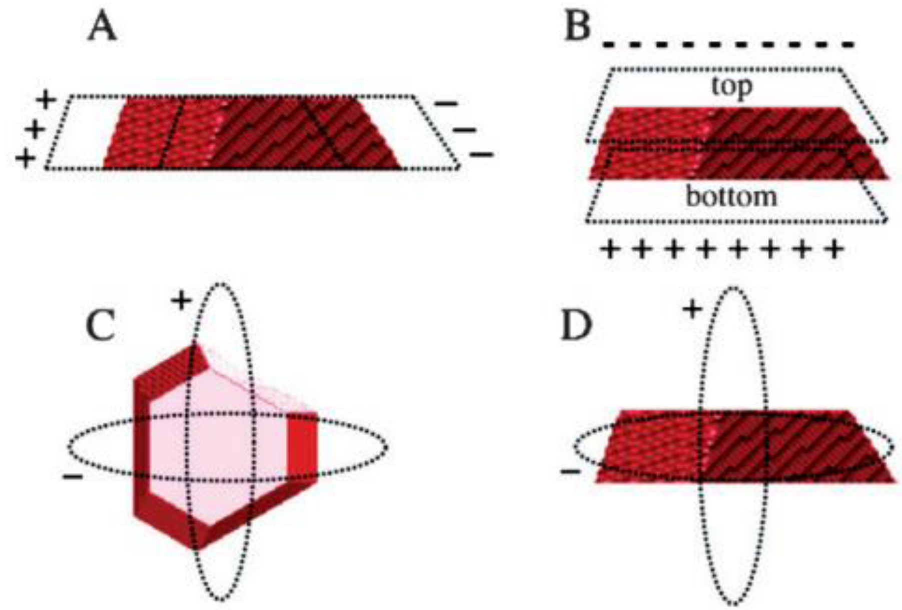


Степашка и резонанс



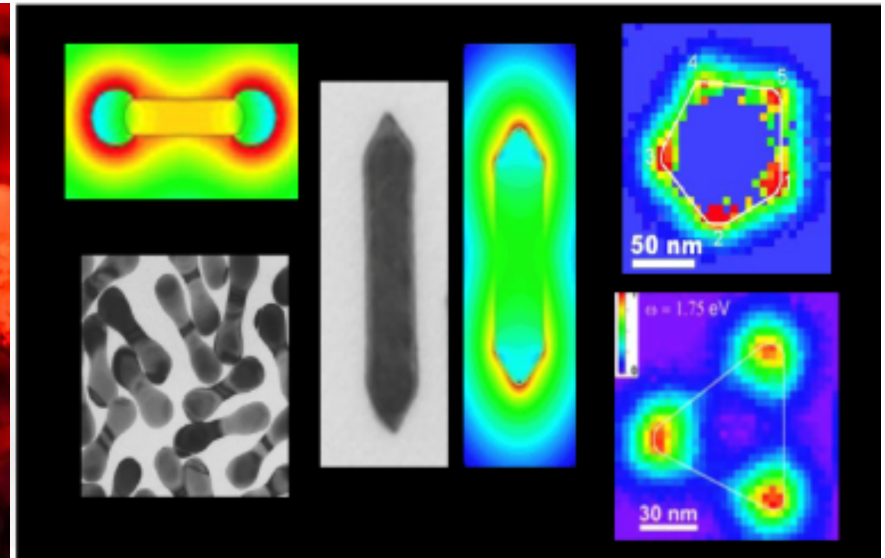
Форма частиц

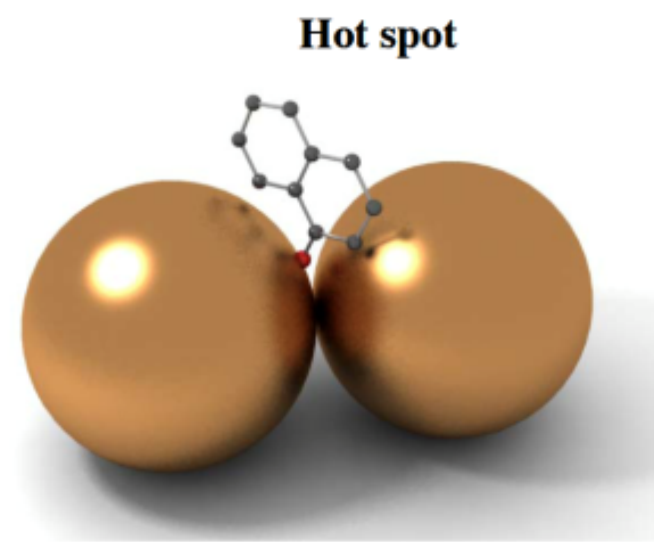




анизотропия частиц

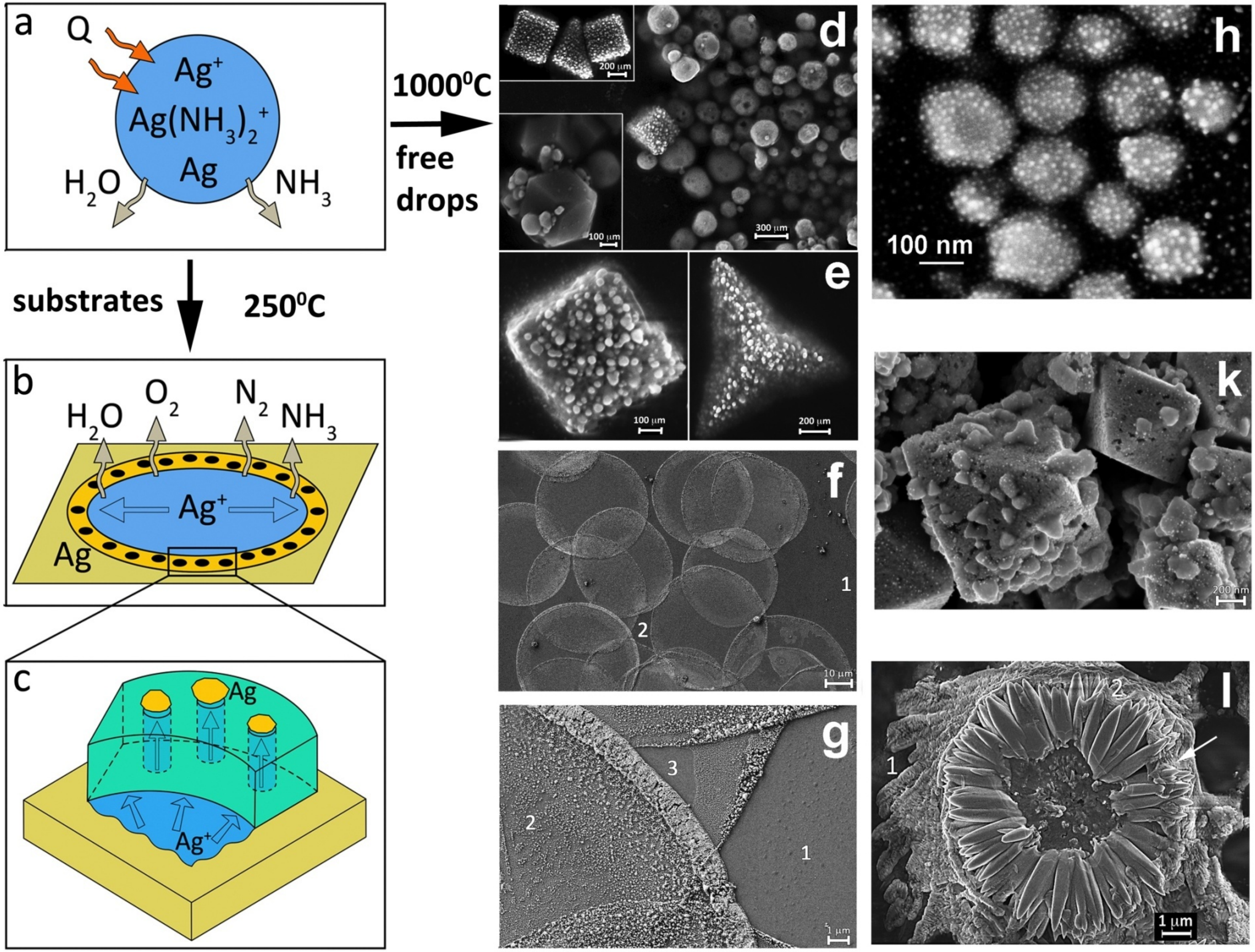
Горячие точки



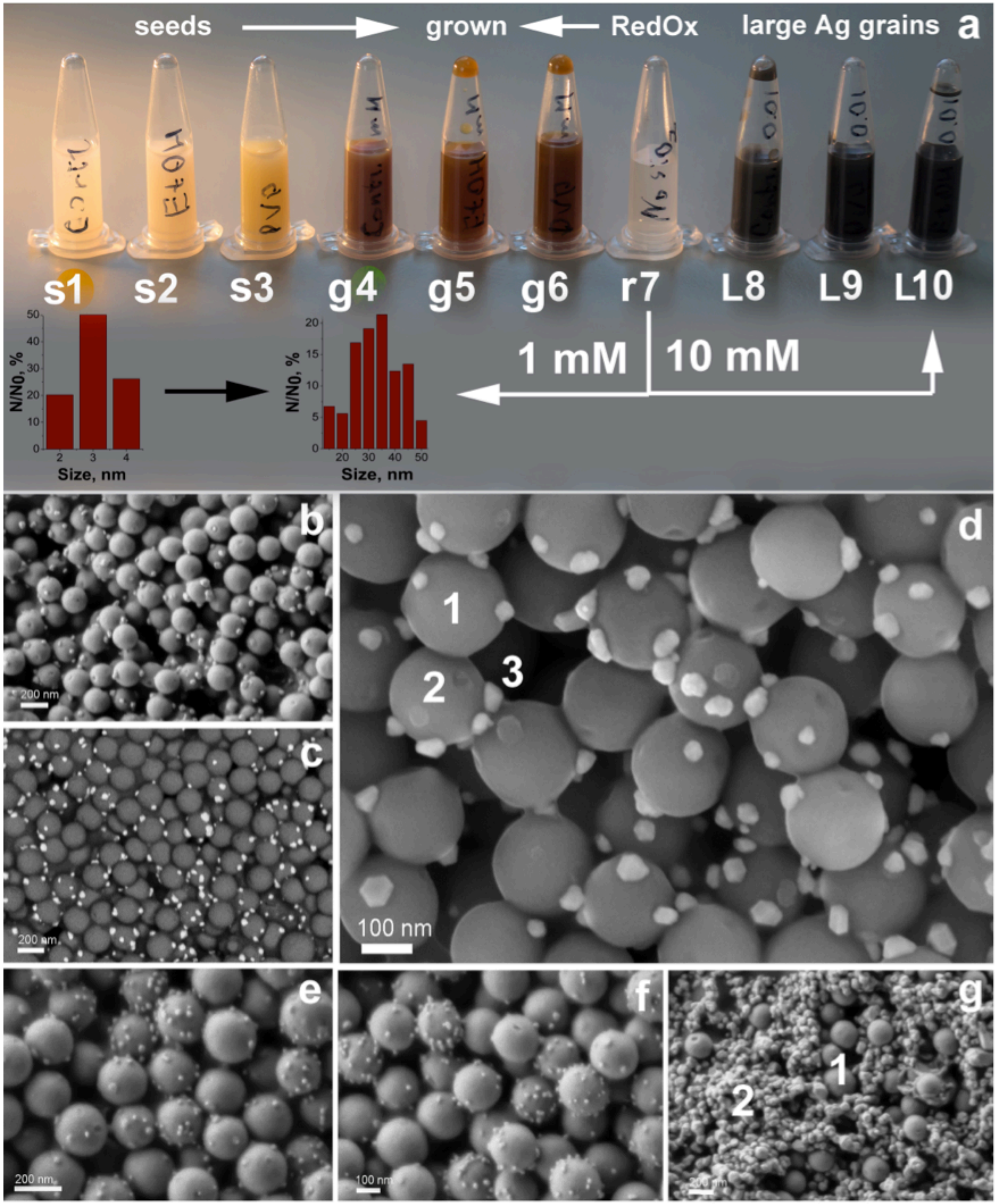


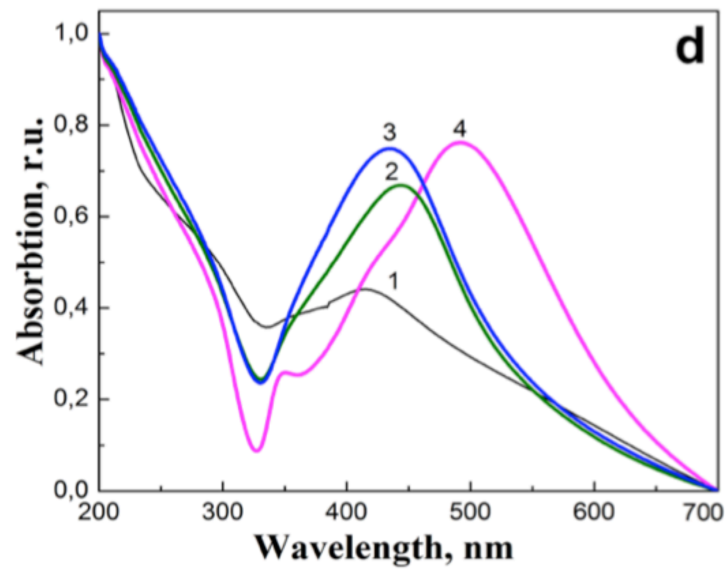
агрегатная структура

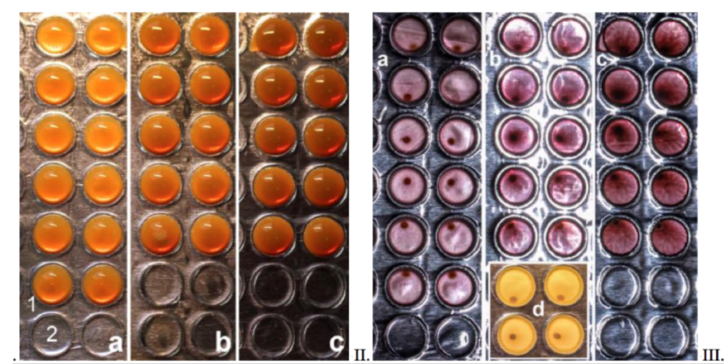
USSR (UltraSonic Silver Rain)



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

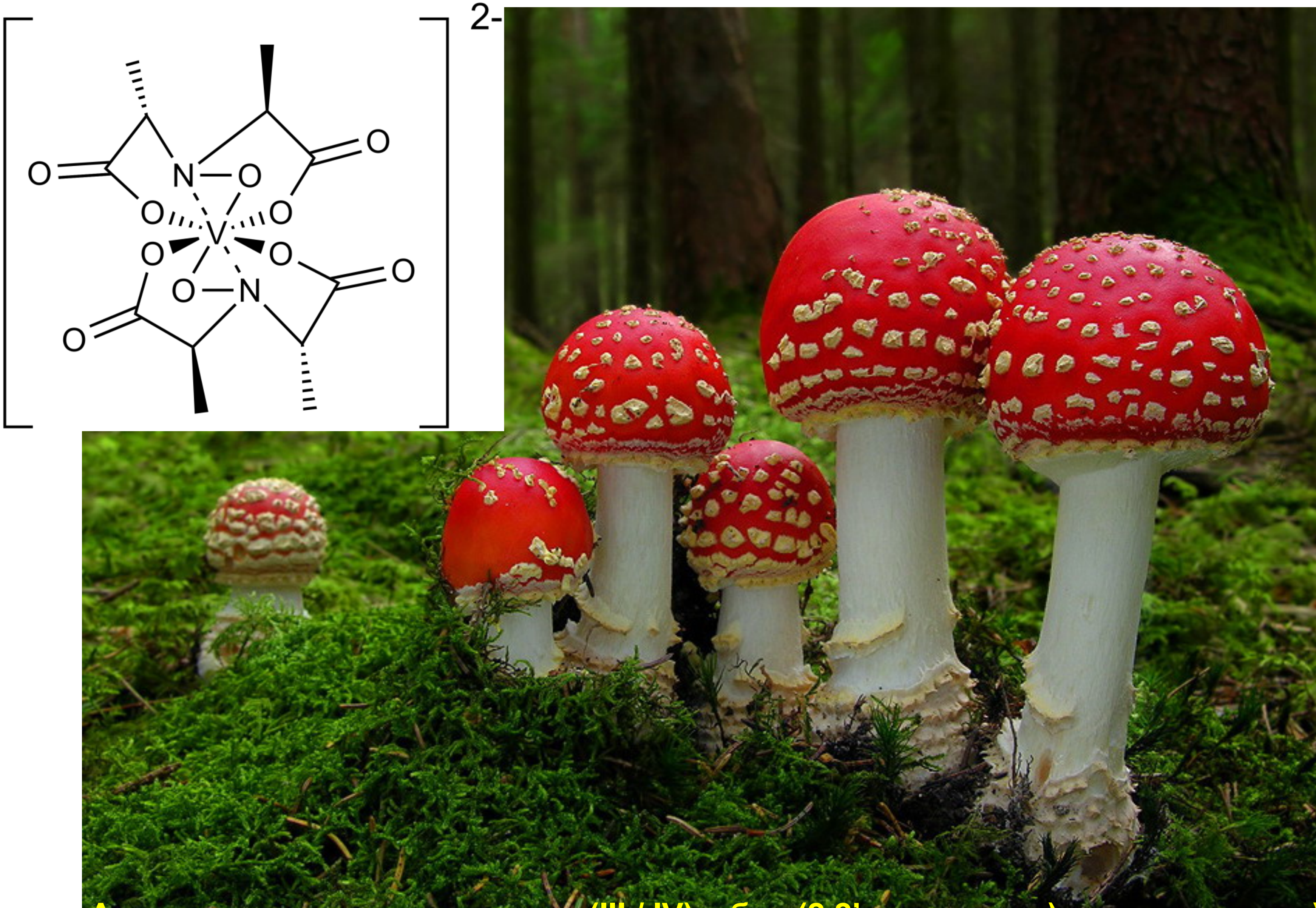

seeds
grown
RedOx
large Ag grains
a
s1
s2
s3
g4
g5
g6
r7
L8
L9
L10
1 mM
10 mM
N/N0, %
Size, nm
b
c
d
e
f
g
1
2
3
100 nm
200 nm
100 nm


d
Absorbtion, r.u.
Wavelength, nm
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
200
300
400
500
600
700
1
2
3
4


a
b
c
II.
d
III.

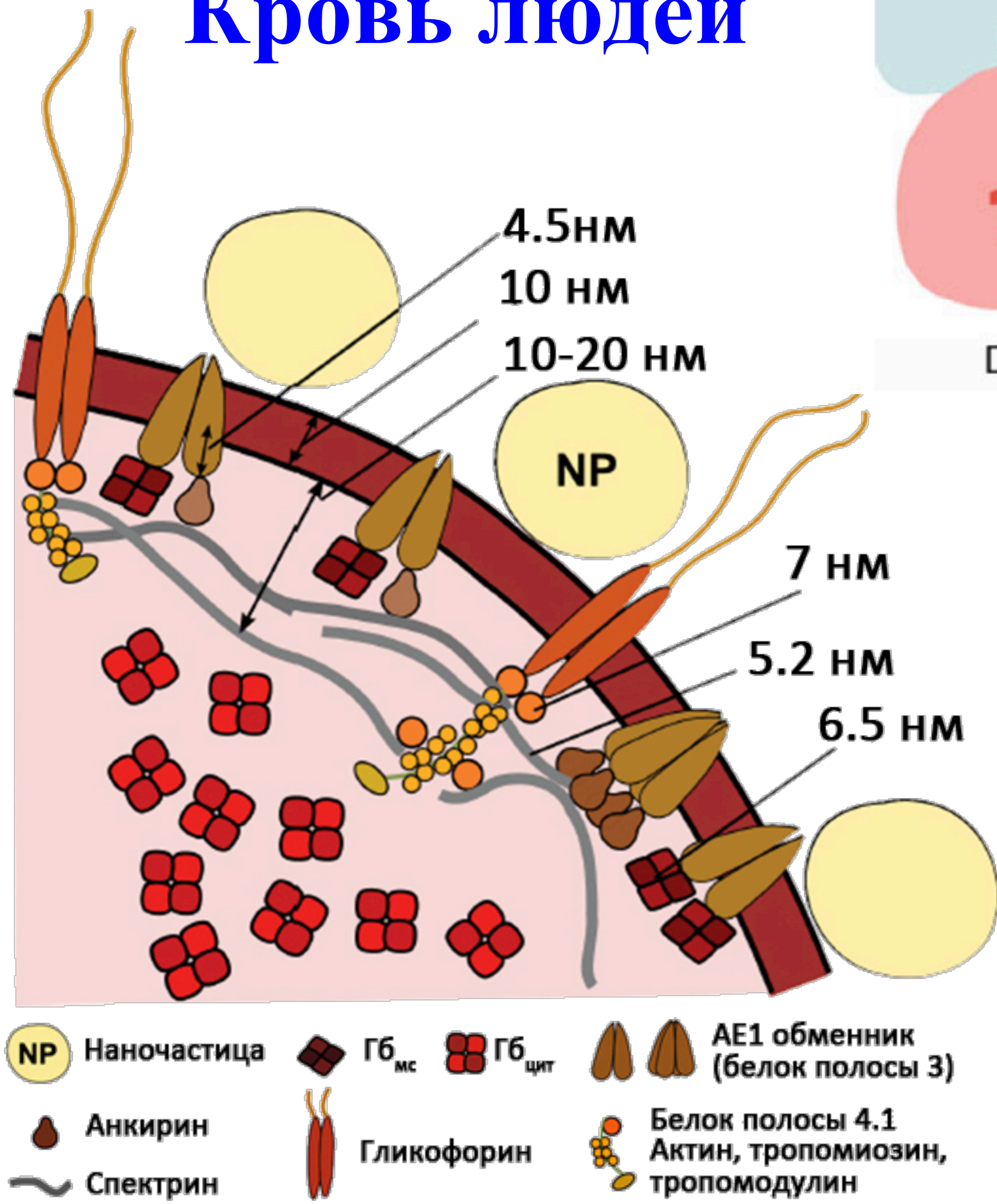
RSC Adv., 2015

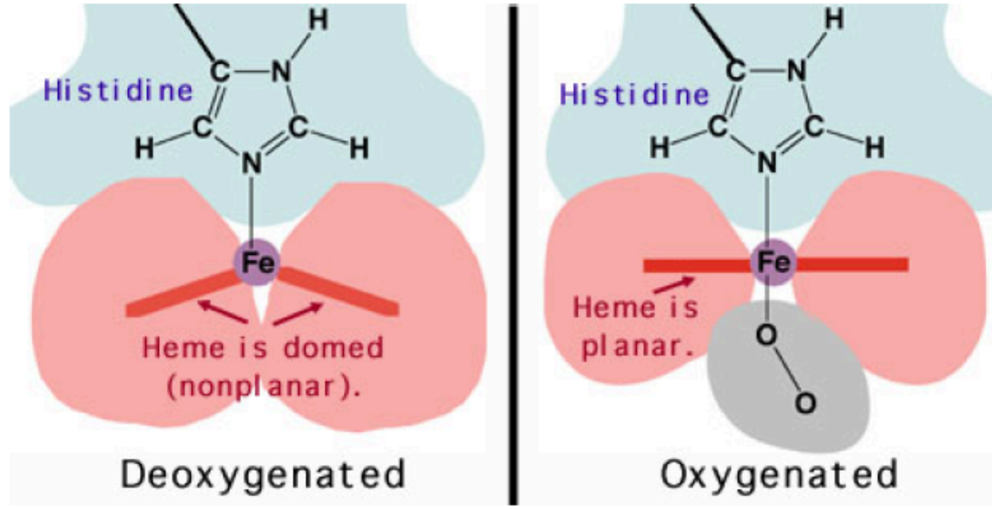
Кровь мухоморов

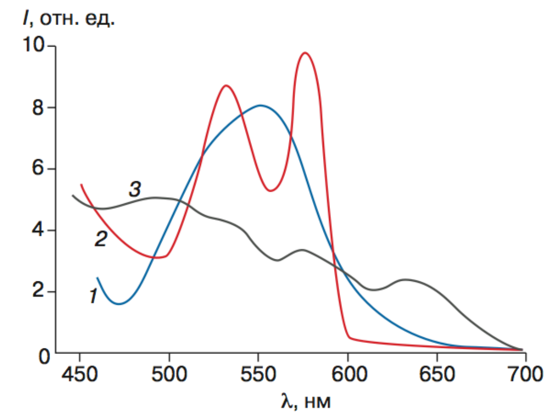


Амавадин – комплекс ванадия (III / IV) с бис (2,2’-оксиимино)дипропионатом)

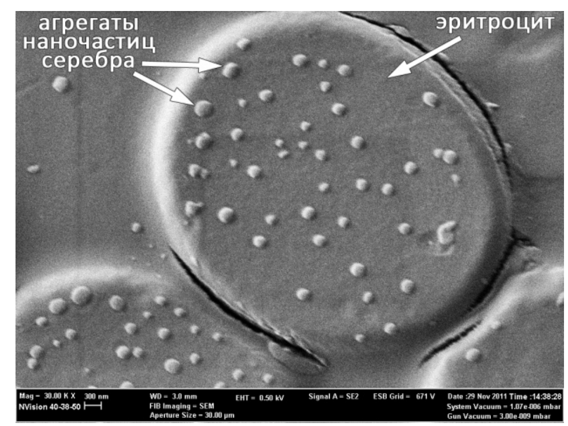
Кровь людей





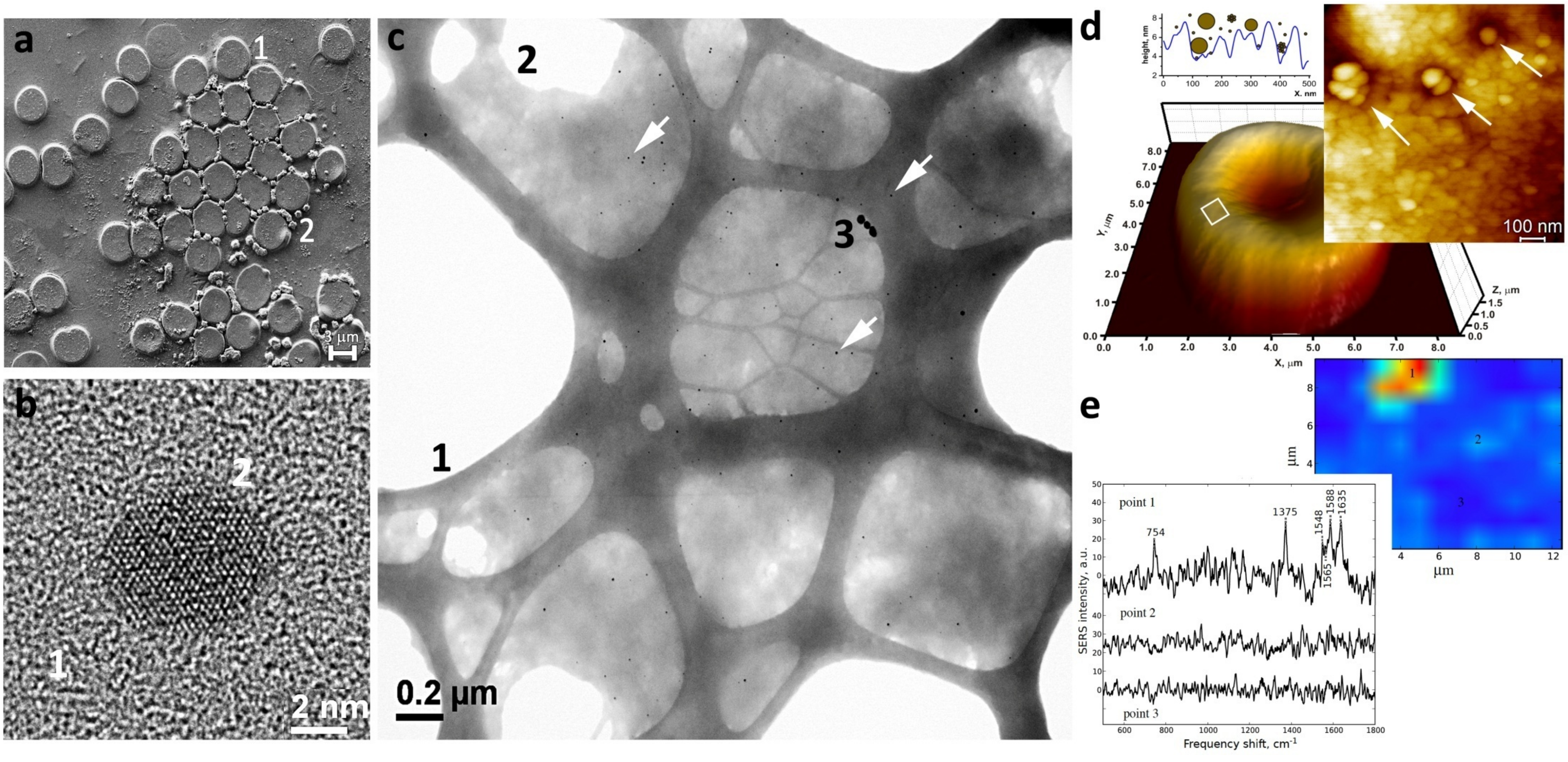


Спектры поглощения дезоксигемоглобина (*1*), оксигемоглобина (*2*) и ферригемоглобина (*3*)

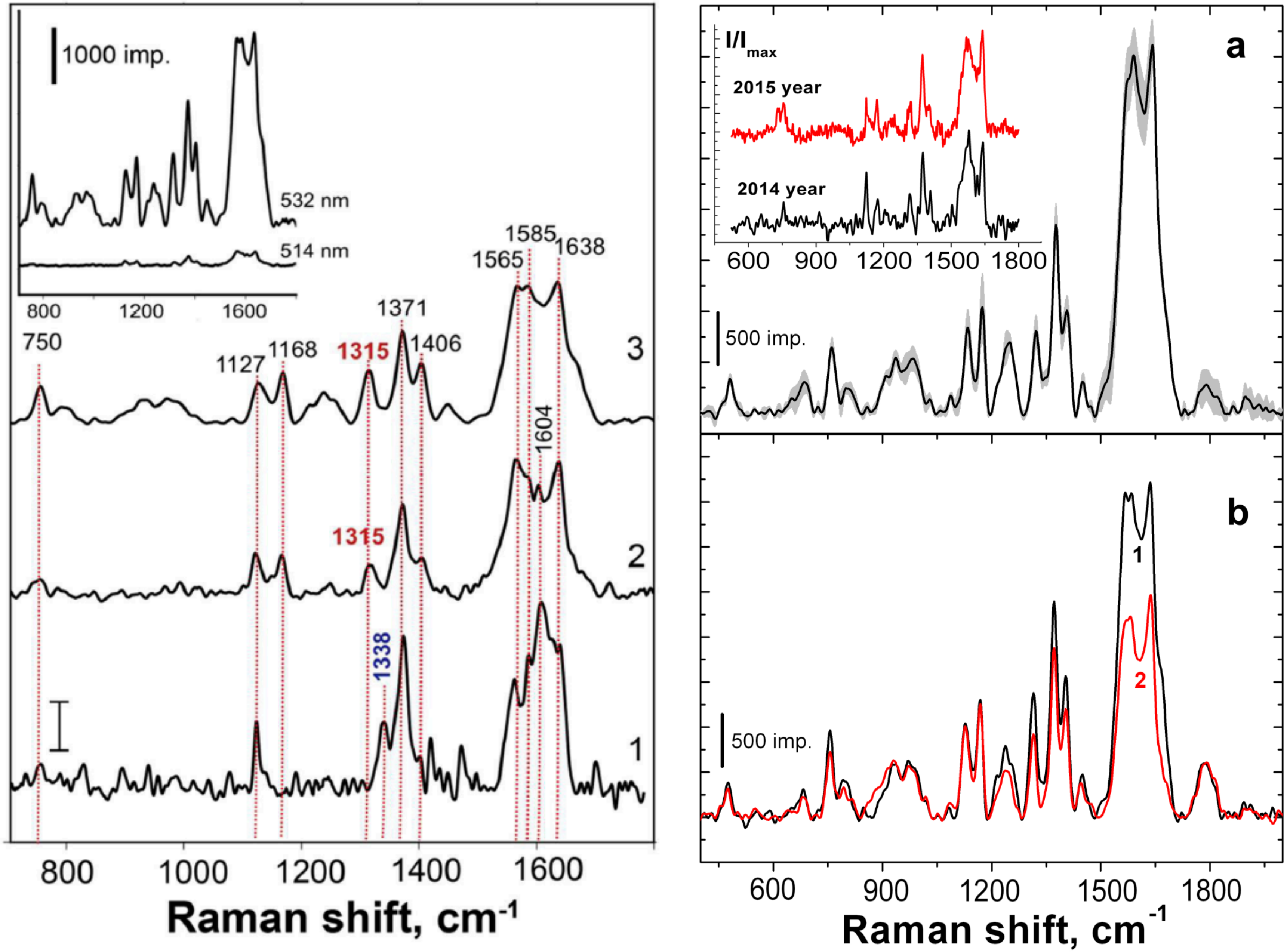


J. Raman Spectr., 2013

Серебро и клеточная мембрана



Plasmonics, 2013

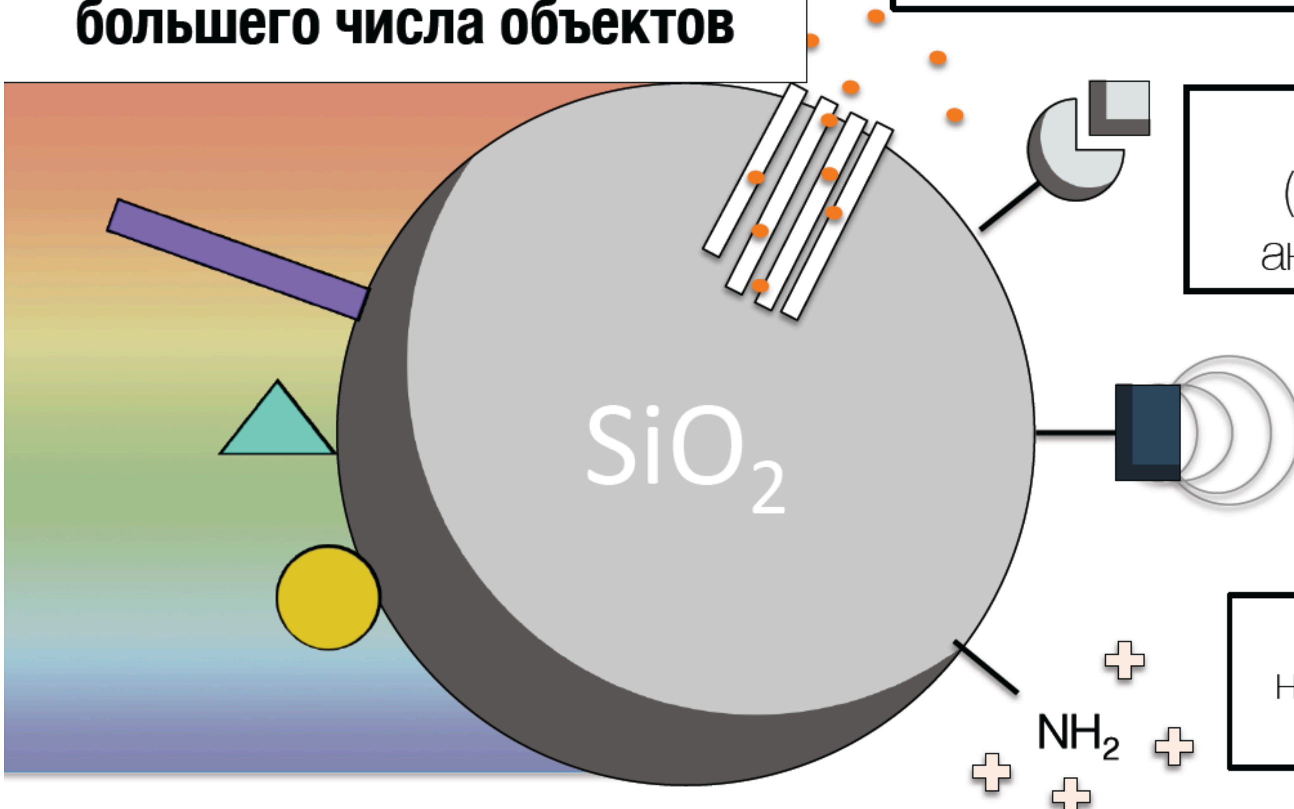


1000 imp.
532 nm
514 nm
800
1200
1600
750
1127
1168
1315
1371
1406
1565
1585
1638
1604
1338
3
2
1
800
1000
1200
1400
1600
Raman shift, cm-1
a
I/Imax
2015 year
2014 year
600
900
1200
1500
1800
500 imp.
b
1
2
500 imp.
600
900
1200
1500
1800
Raman shift, cm-1

Варьируемая полоса плазмонного резонанса позволяет получать сигнал от большего числа объектов

Возможные функции

Пористость (газовые сенсоры)

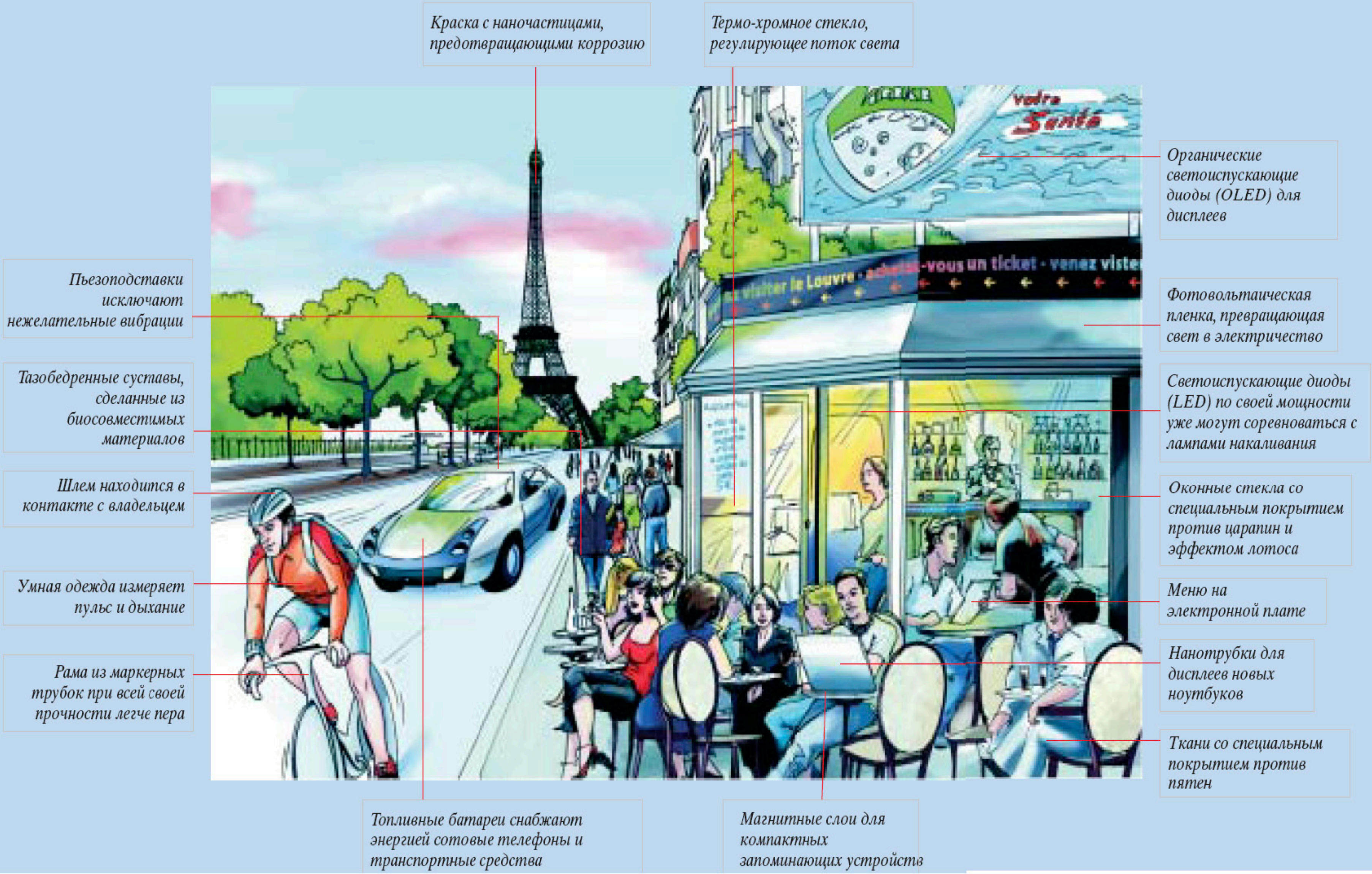


Антиген-антитело (селективный захват аналитов из раствора)

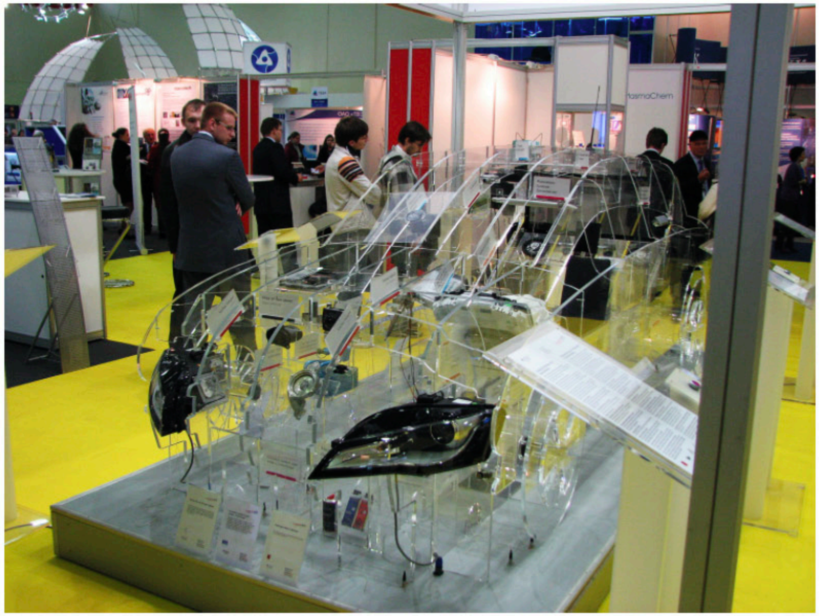
Магнитные свойства (магнитная сепарация)

Заряд поверхности и наличие функциональных групп

Нанотехнологии в будущей повседневной жизни



Реальные нанотехнологии



(ВИАМ, академик Е.Н.Каблов)


INO 2018
INTERNATIONAL
NANOTECHNOLOGY
OLYMPIAD 2018


Thank you for your
attention

Неделя науки: Президент и Декан

Декан химического факультета МГУ, академик РАН В.В.Лунин

Чл.-корр. РАН, д.х.н., профессор МГУ С.Н.Калмыков

Неделя науки

Выливание жидкого азота в кипяток

Вспышка органической соли перманганата

дготовка взрыва

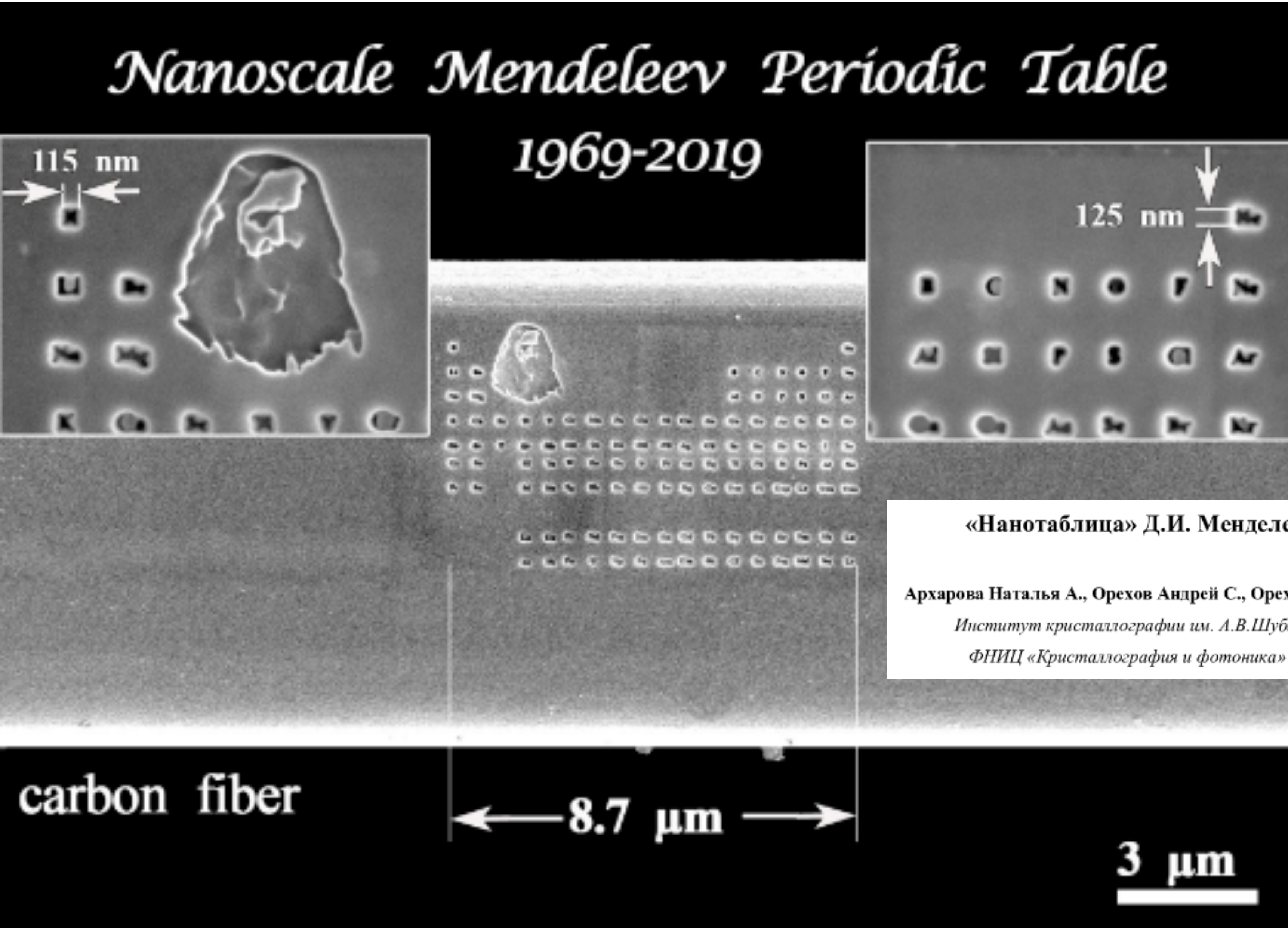
Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ: солнечные батареи, фруктовые батарейки, печать шоколадом

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

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

Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ: сверхпроводящий поезд

Международный год ПСЭ

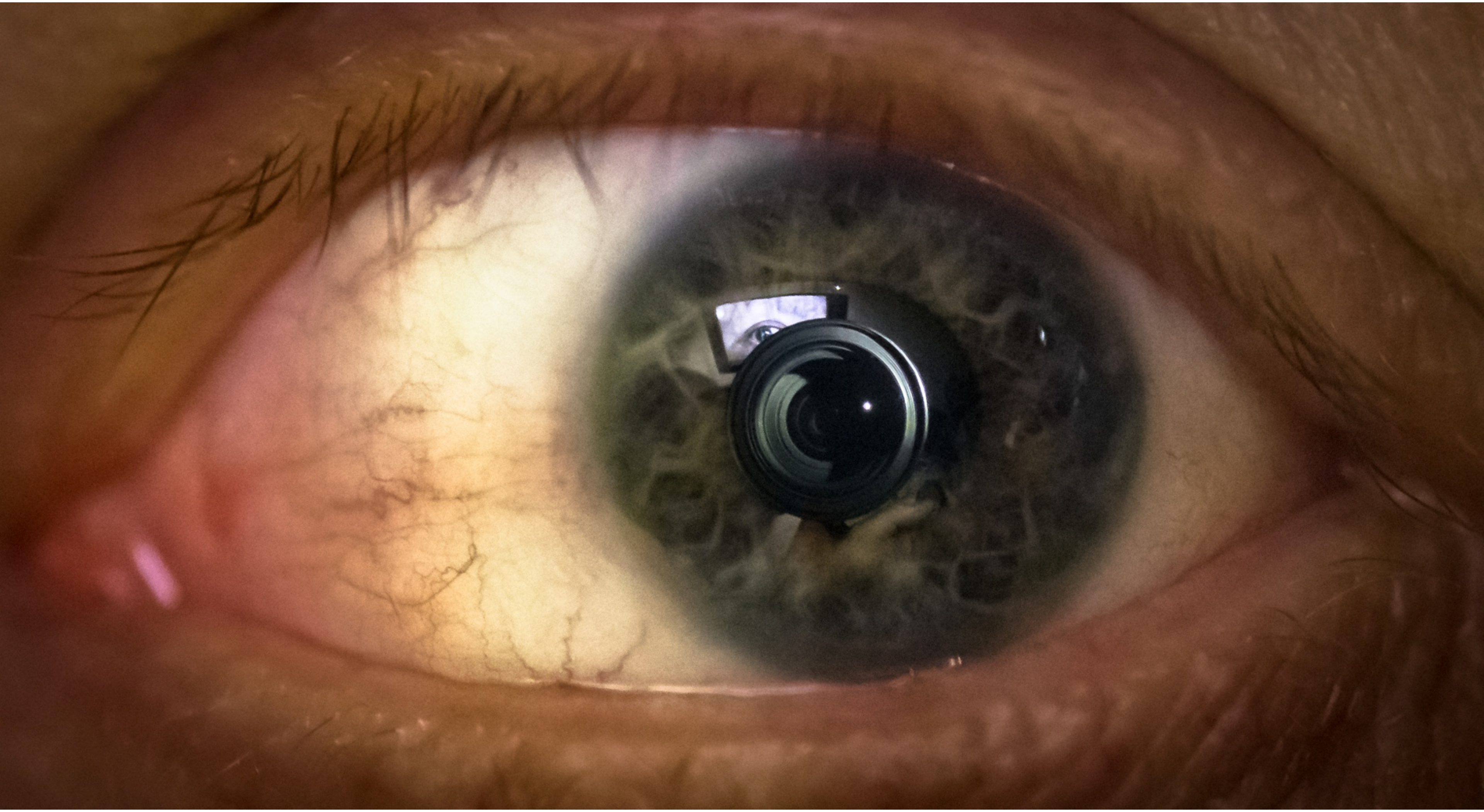


«Нанотаблица» Д.И. Менделеева

Архарова Наталья А., Орехов Андрей С., Орехов Антон С.

Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова

ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН



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*