



УНИВЕРСИТЕТ
ЛОБАЧЕВСКОГО
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Научно-образовательный центр
Физика твердотельных наноструктур

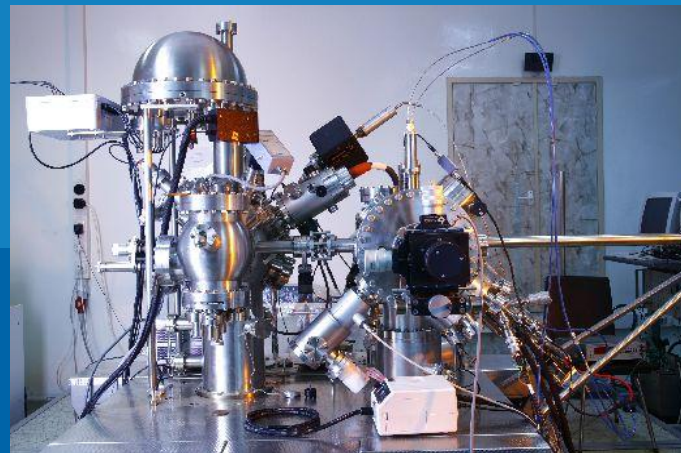
spm.unn.ru

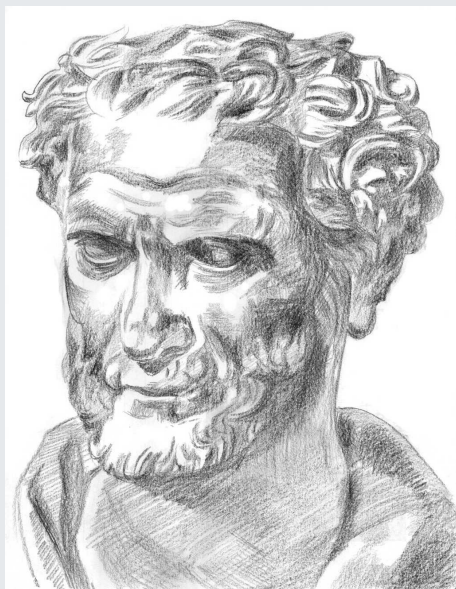
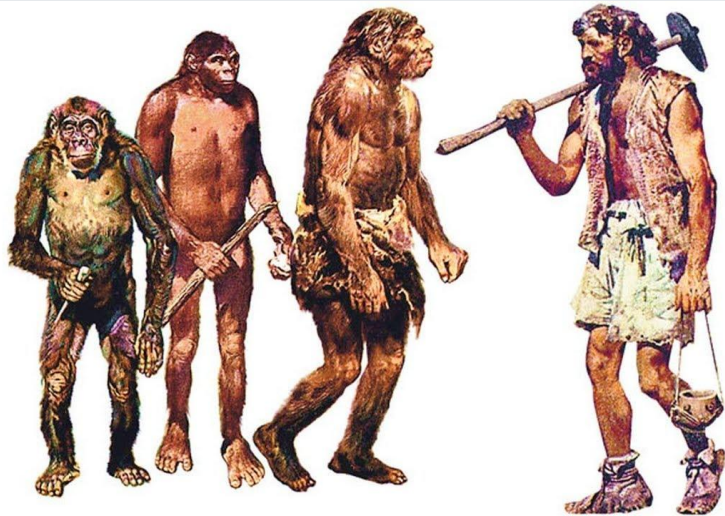


Научно-образовательный центр «Физика твердотельных наноструктур» (НОЦ ФТНС ННГУ)

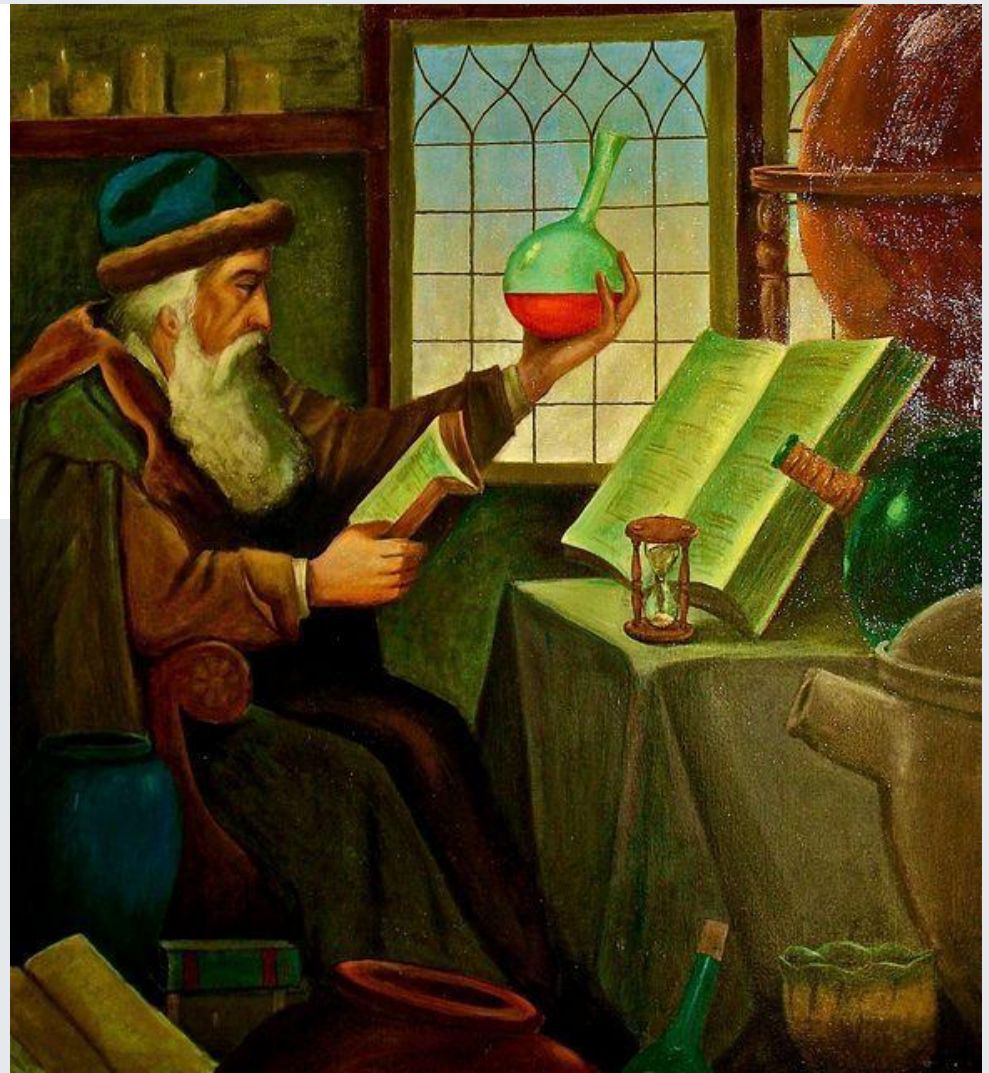
Учебно-научный центр для учащихся школ и лицеев
«Перспективные материалы и технологии»

Белоснежка и семь гномов или Экскурсия в наномир
н.с. НОЦ ФТНС *Круглов Александр Валерьевич*



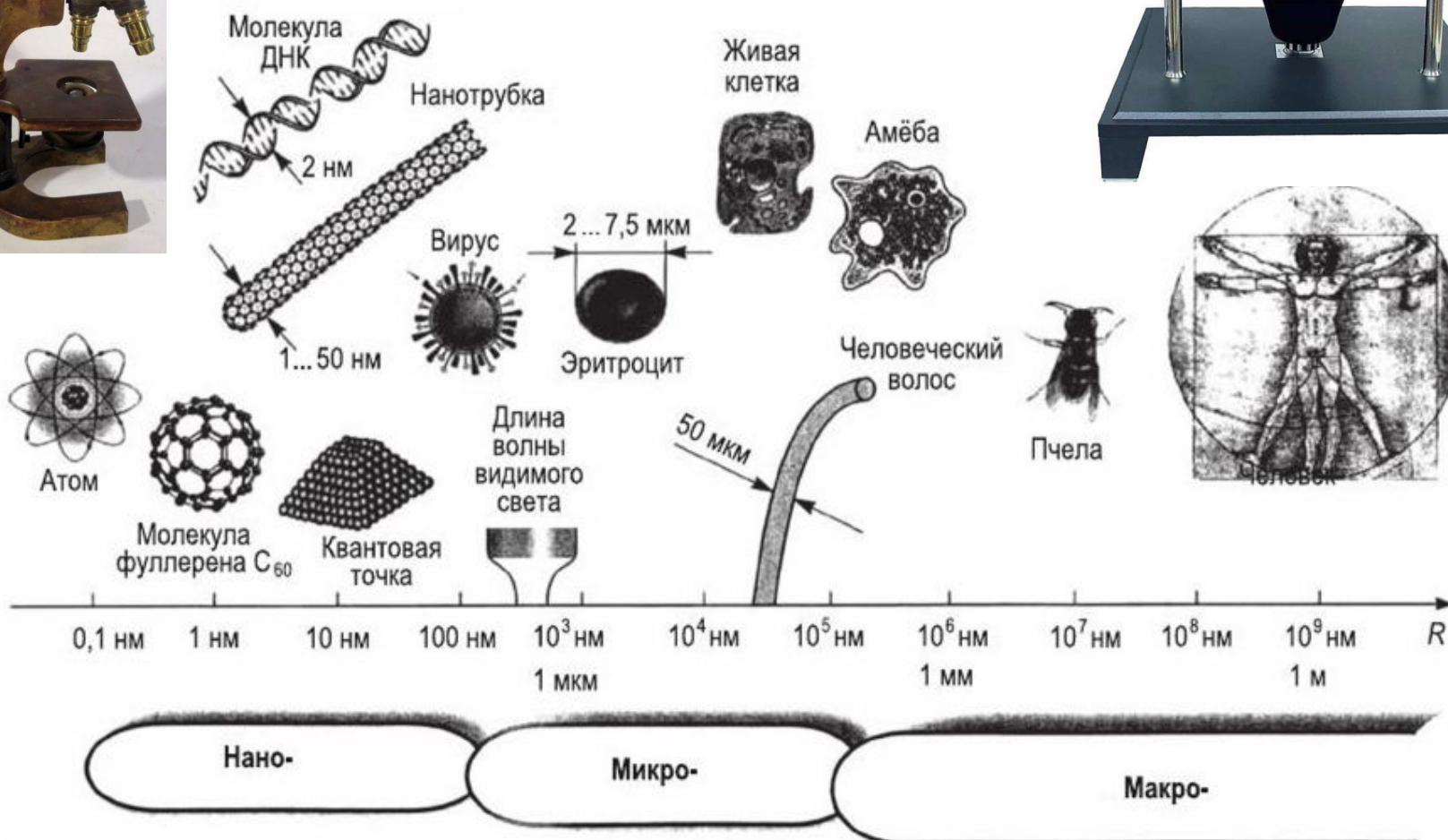


Демокрит, около 460 - 370 до н. э.



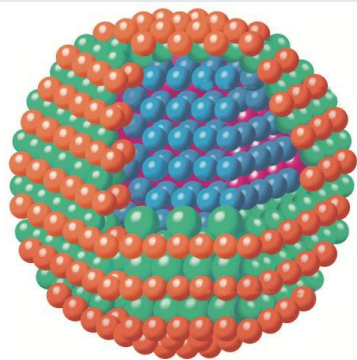
Первые ученые - алхимики

«Нано» история



Что такое «нано»?

величина	название	обозначение	
10^{-3} м	миллиметр	мм	mm
10^{-6} м	микрометр	мкм	μm
10^{-9} м	нанометр	нм	nm
10^{-12} м	пикометр	пм	pm



Мультфильм «Смешарики: Пин-код» 1 сезон 23 серия – «Испытание»

Методы исследования



Оптический
микроскоп

Увеличение
(разрешение)

2000

клетки
(1 мкм)

Рабочая
среда

воздух,
жидкость

Размерность
изображения

2D

Воздействие на
образец

неразрушающий



Сканирующий
электронный
микроскоп

10^6
1 000 000

вирусы
(10 нм)

вакуум

2D

разрушающий



Сканирующий
зондовый
микроскоп

10^9
1 000 000 000

атомы
(0,1 нм – 1 Å)

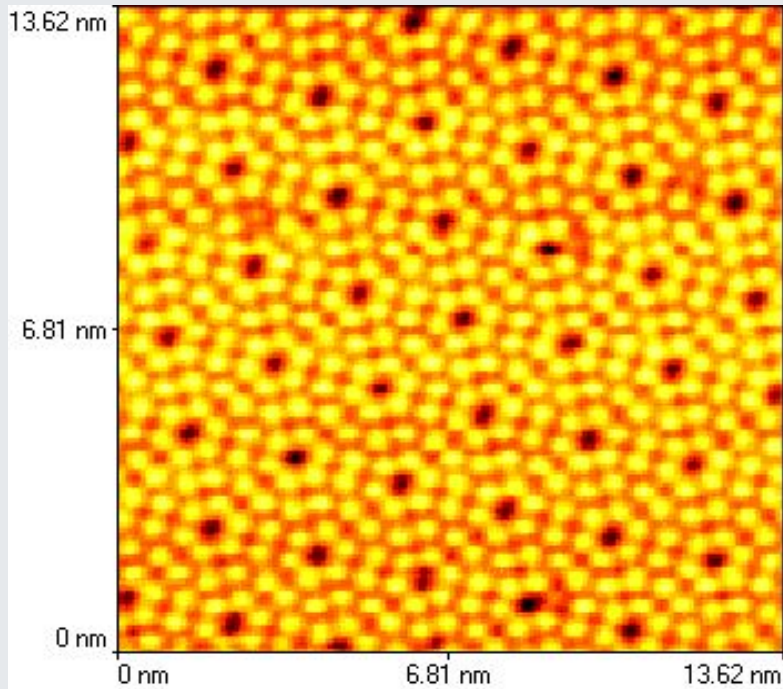
вакуум,
воздух,
жидкость

3D

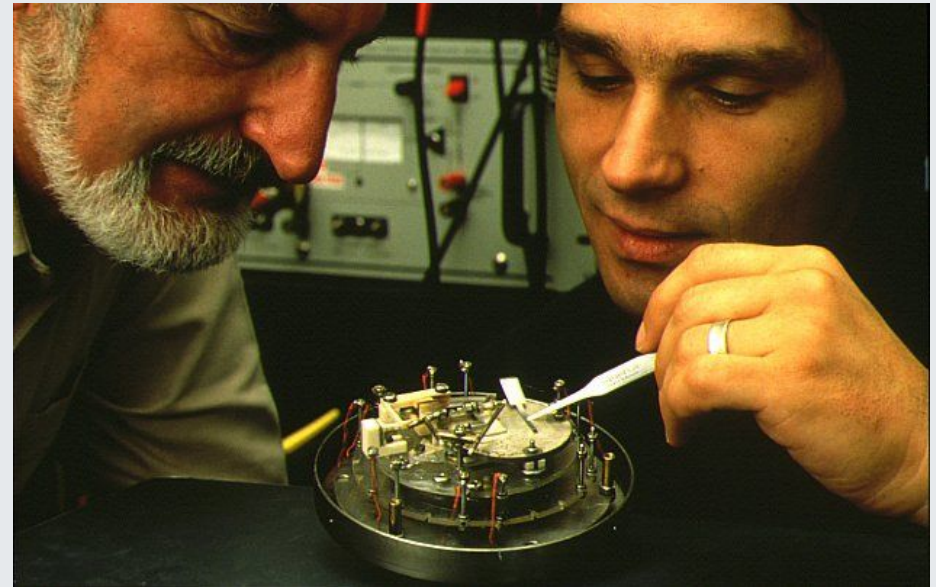
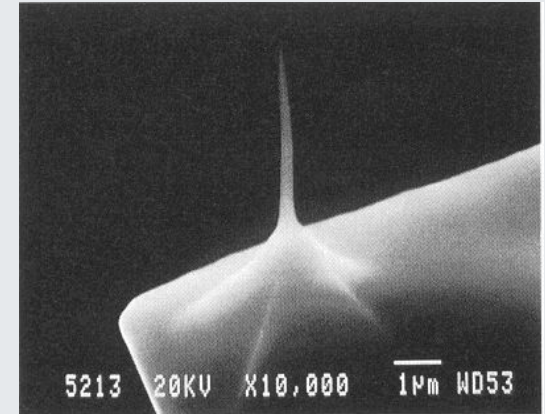
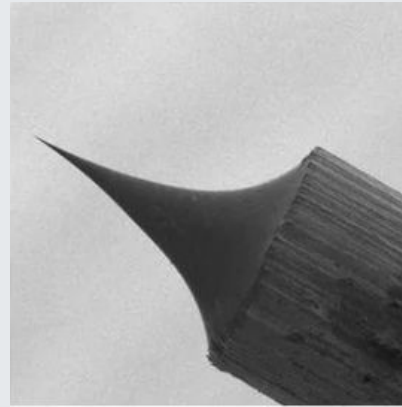
неразрушающий

Сканирующая зондовая микроскопия

Изображение атомной структуры
поверхности Si (111)

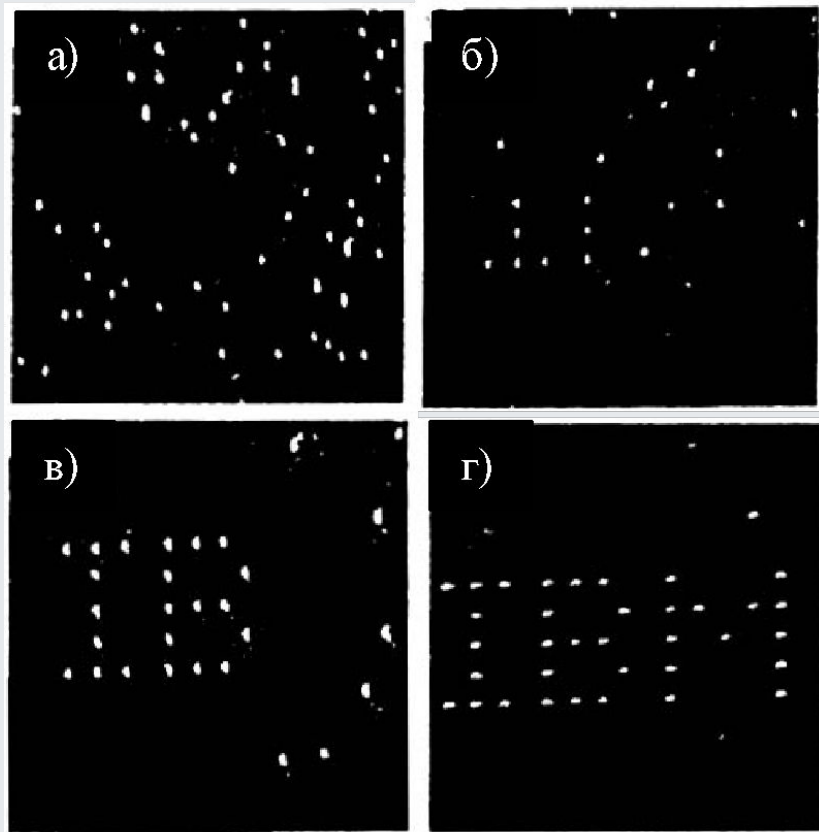


За получение первого в мире изображения поверхности полупроводника с атомарным разрешением Г. Бинниг и Г. Рорер получили в 1986 году нобелевскую премию по физике.

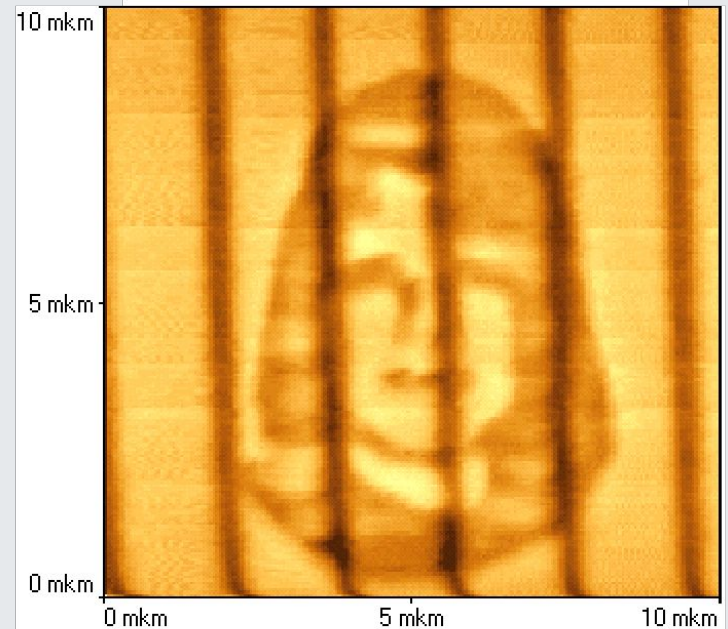


Отцы-основатели сканирующей зондовой микроскопии Генрих Рорер и Герд Бинниг у модели первого туннельного микроскопа

Сканирующая зондовая литография



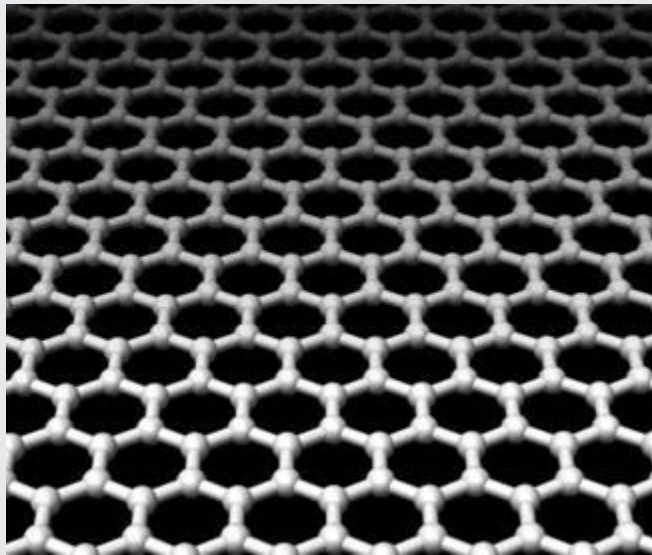
Пример СТМ литографии. Название фирмы IBM составлено из атомов ксенона (светлые точки), осажденных на поверхность никеля. На рисунках а) – г) показаны последовательные стадии поатомной сборки самой маленькой в мире рекламы (размер скана $\sim 10 \times 10 \text{ нм}^2$).



Шаблон (вверху) и топография (внизу) участка поверхности, на котором была выполнена динамическая силовая литография на приборе NanoEducator.

Графен, углеродные нанотрубки, фуллерены

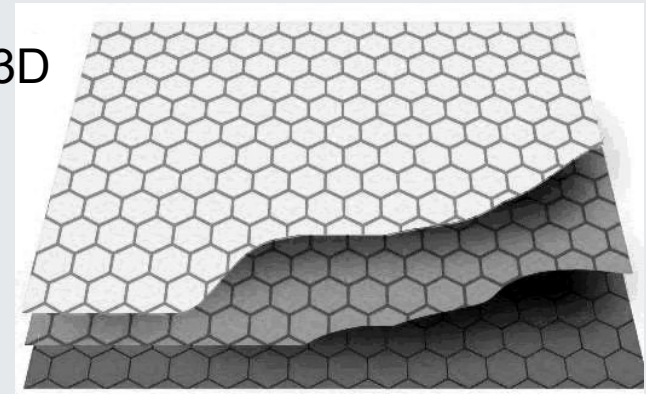
2D



Схематическое изображение графена. Светлые шарики – атомы углерода, а стержни между ними – связи, удерживающие атомы в листе графена.

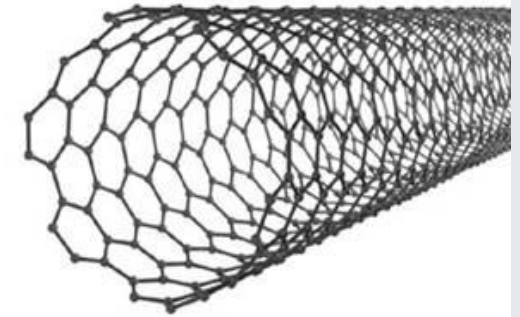
За открытие фуллеренов американскому физику Р. Смоли, а также английским физикам Х. Крото и Р. Керлу в 1997 году была присуждена Нобелевская премия по химии.

3D



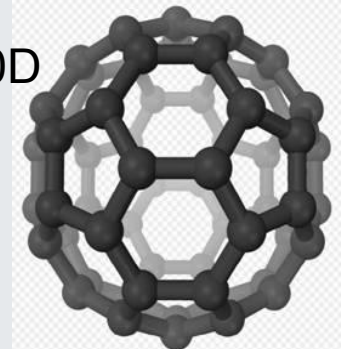
Графит

1D

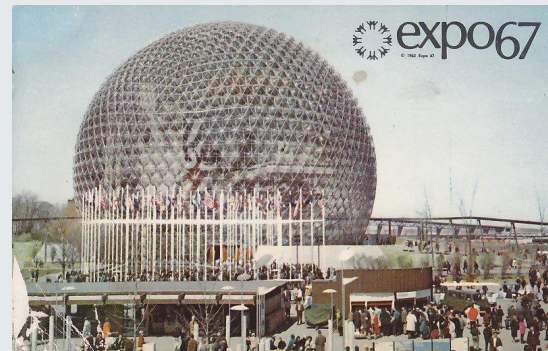


Углеродная нанотрубка

0D

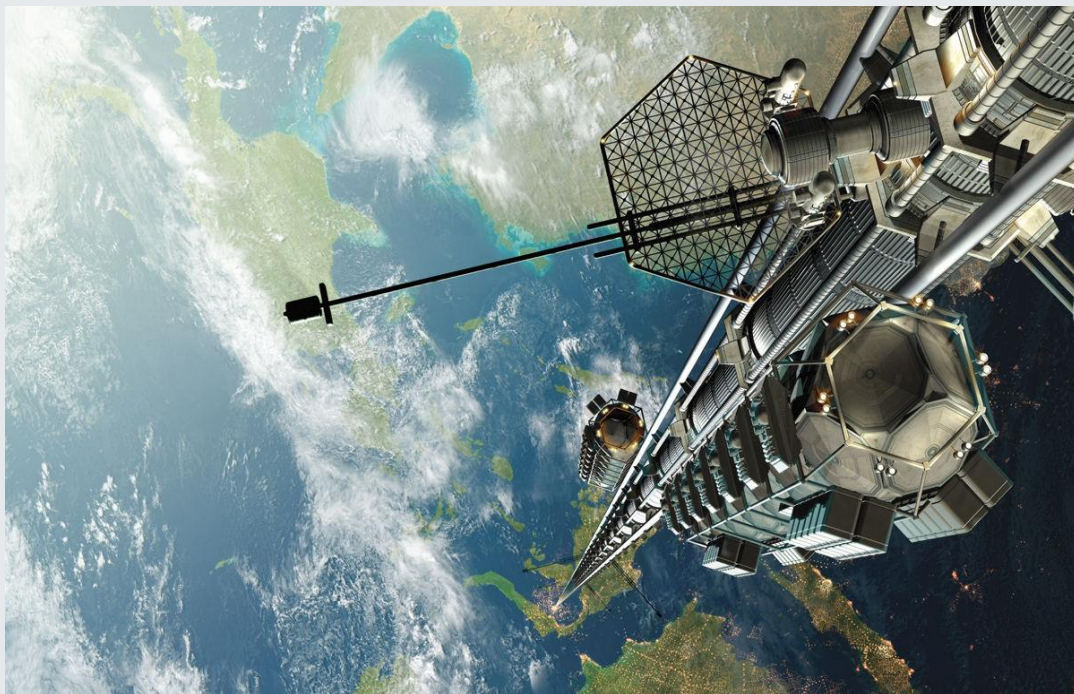
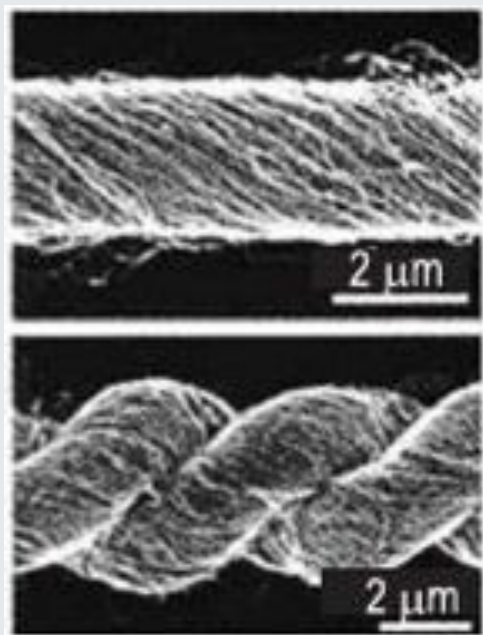


Фуллерен C₆₀



Космический лифт

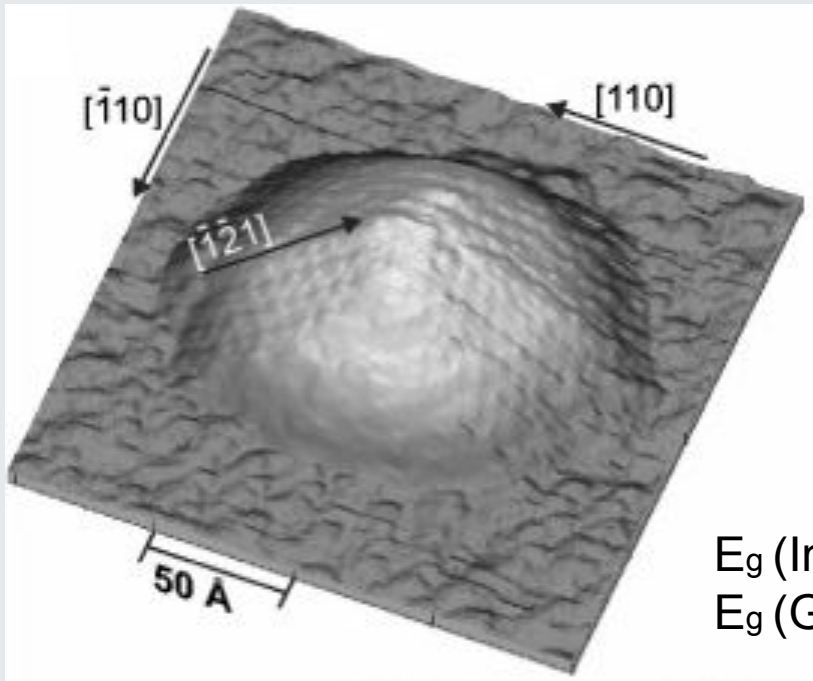
Космический лифт – впервые идею создания высказал Константин Эдуардович Циолковский в 1895 году. Основан на применении троса, протянутого от поверхности планеты к геостационарной орбитальной станции. Предположительно, такой способ выведения грузов на планетарную орбиту или за её пределы в перспективе может быть на порядки дешевле использования ракет-носителей.



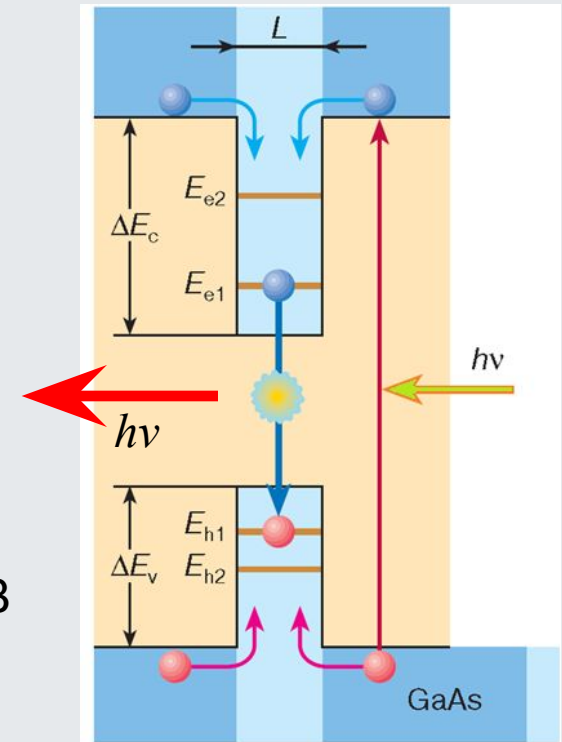
На основе волокон из сверхпрочных и сверхлегких углеродных нанотрубок появляется реальная возможность изготовить трос с нужными характеристиками.

Квантовые точки

Квантовые точки (Quantum dots) – это крошечные кристаллы (фрагмент проводника или полупроводника, ограниченный по всем трём пространственным измерениям), излучающие свет с точно регулируемым цветовым значением, зависящем от размера квантовой точки.



$E_g(\text{InAs}) = 0,43 \text{ эВ}$
 $E_g(\text{GaAs}) = 1,52 \text{ эВ}$



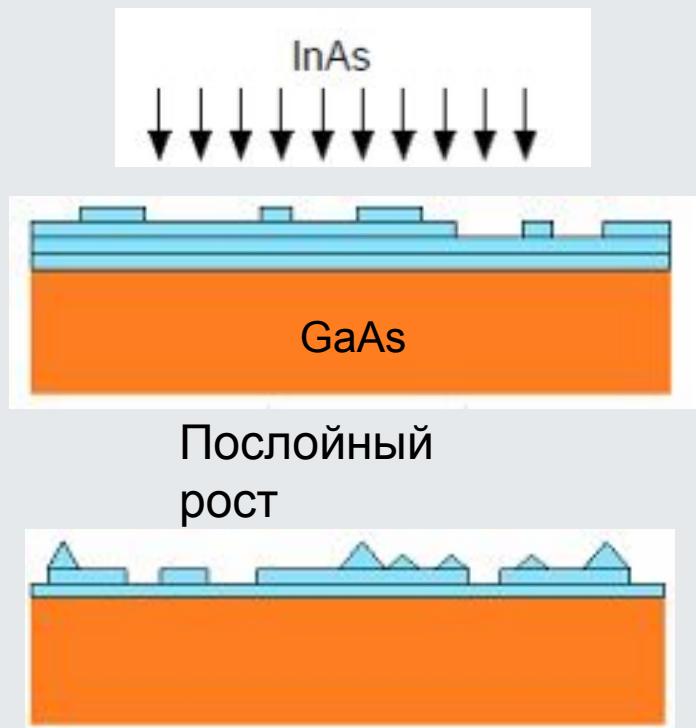
СТМ изображение квантовой точки InAs/GaAs(001)

Управляя размерами КТ, можно управлять энергией кванта излучения

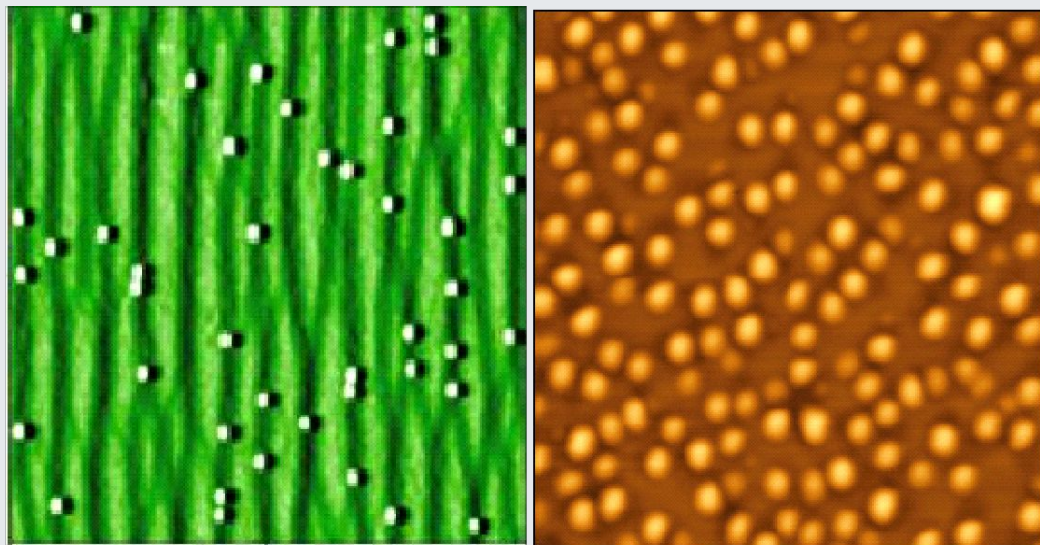
$$E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e L^2} n^2$$

Самоформирующиеся полупроводниковые квантовые точки

Самоформирующиеся полупроводниковые квантовые точки получают в процессе эпитаксии по механизму Странски-Крастанова.



Переход от слоевого
роста к формированию
наноостровков



АСМ изображение самоорганизованных КТ
InAs/GsAs (слева) и $\text{Ge}_{0,6}\text{Si}_{0,4}/\text{Si}$ (справа), полученные
в лаборатории СЗМ НОЦ ФТНС. Размеры сканов –
 $2,5 \times 2,5$ мкм.

Самоформирующиеся полупроводниковые квантовые точки

Применение квантовых точек в полупроводниковых лазерах



Русский физик, академик Жорес Иванович Алферов за работы в области создания кванто-размерных гетероструктур стал в 2000 году лауреатом Нобелевской премии.

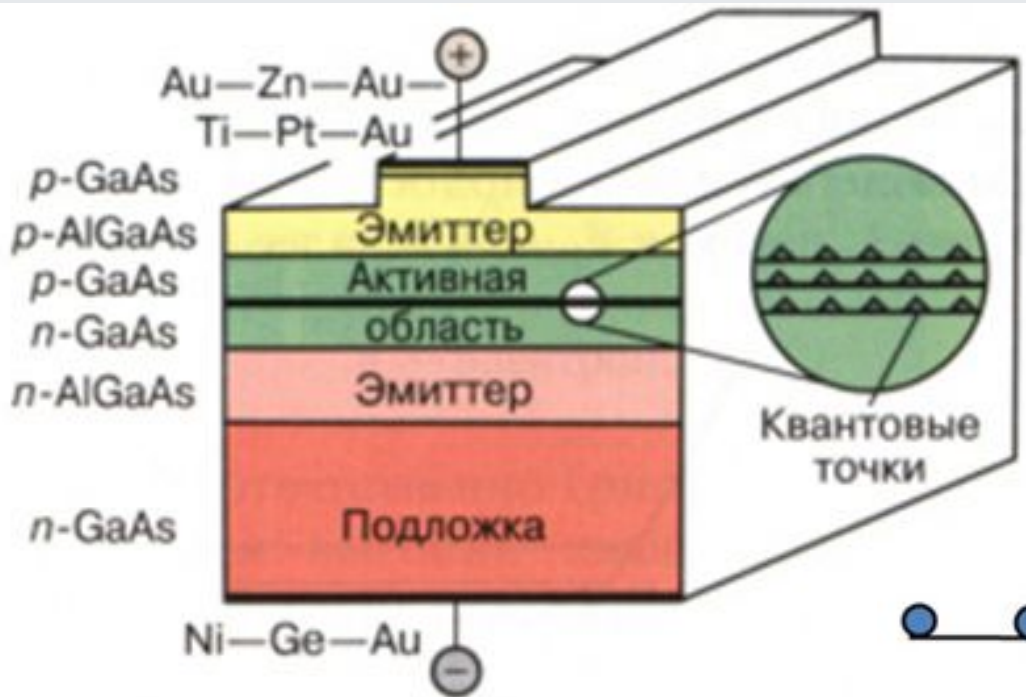
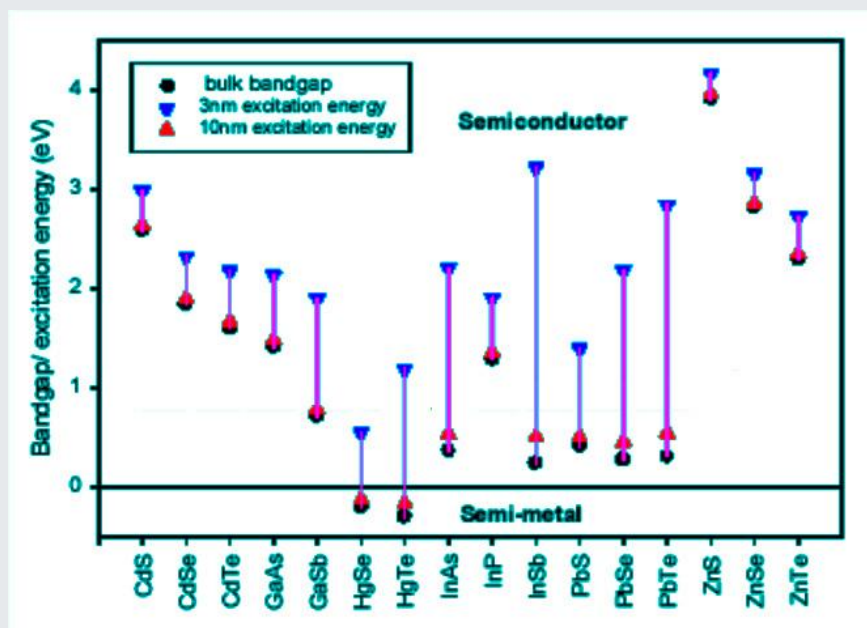
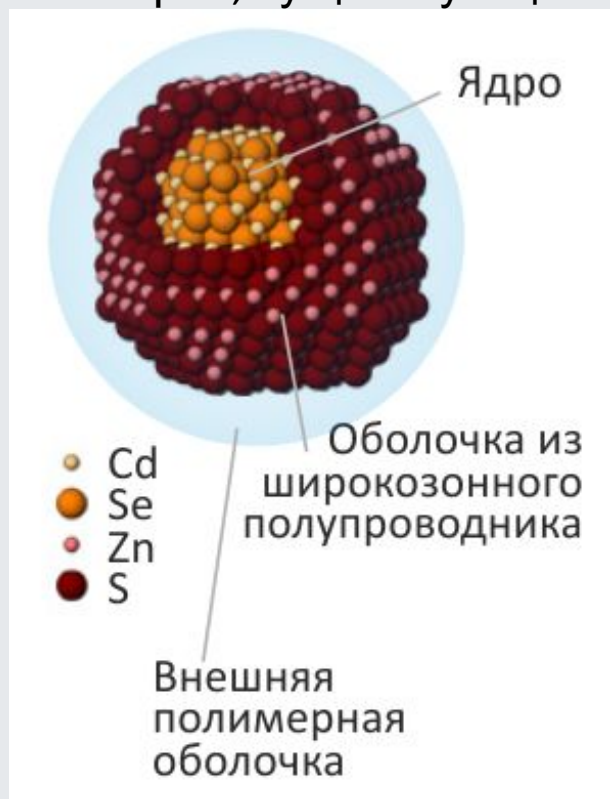


Схема структуры полупроводникового лазера на квантовых точках



Коллоидные квантовые точки

Коллоидные КТ – это полупроводниковые нанокристаллы типа «ядро-оболочка», покрытые стабилизатором, с размером в диапазоне 2-10 нанометров, существующие в виде золей.



Методы синтеза:

- Нуклеация в пересыщенном растворе (химический)
- Дробление (физический)

Применение коллоидных квантовых точек

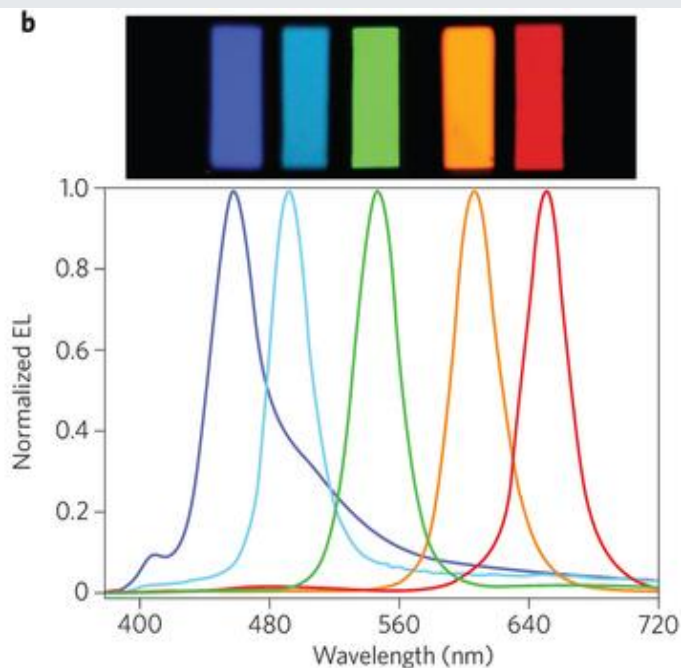
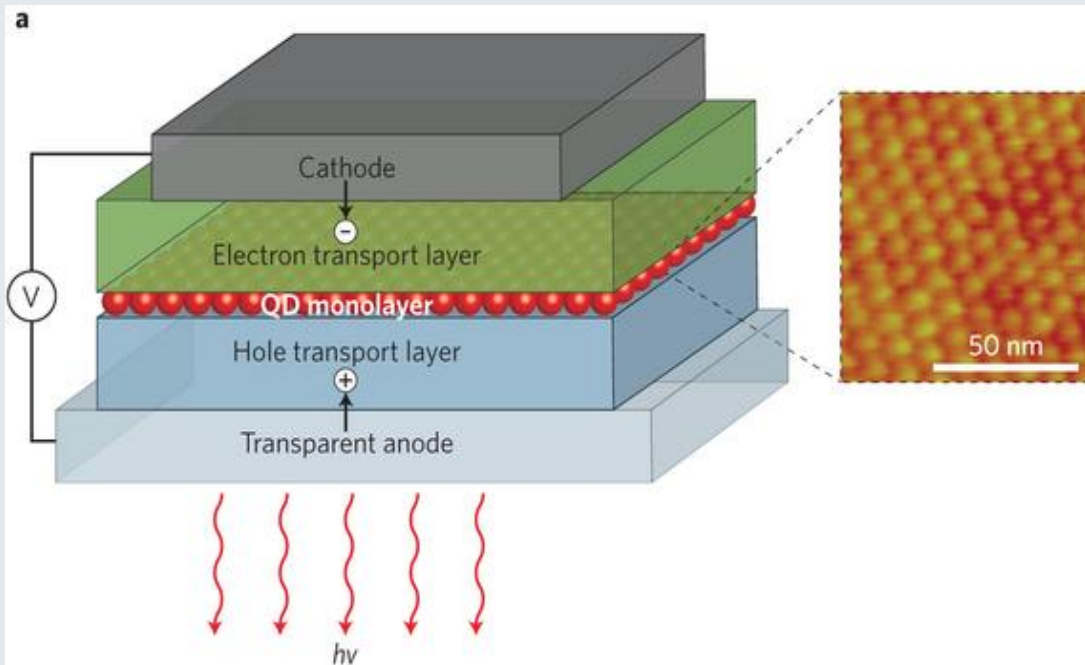
Практическое применения КТ:

- в оптоэлектронных системах, таких как светоизлучающие диоды и плоские светоизлучающие панели, лазеры, ячейки солнечных батарей и фотоэлектрических преобразователей, фотоприемники;
- биологические маркеры.

Samsung

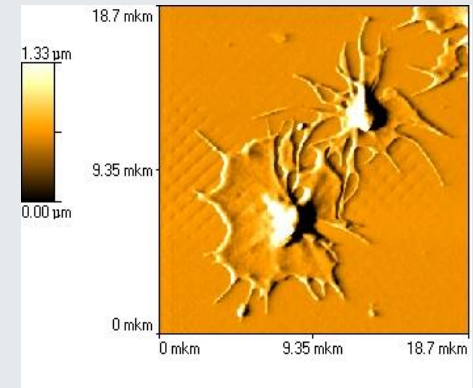
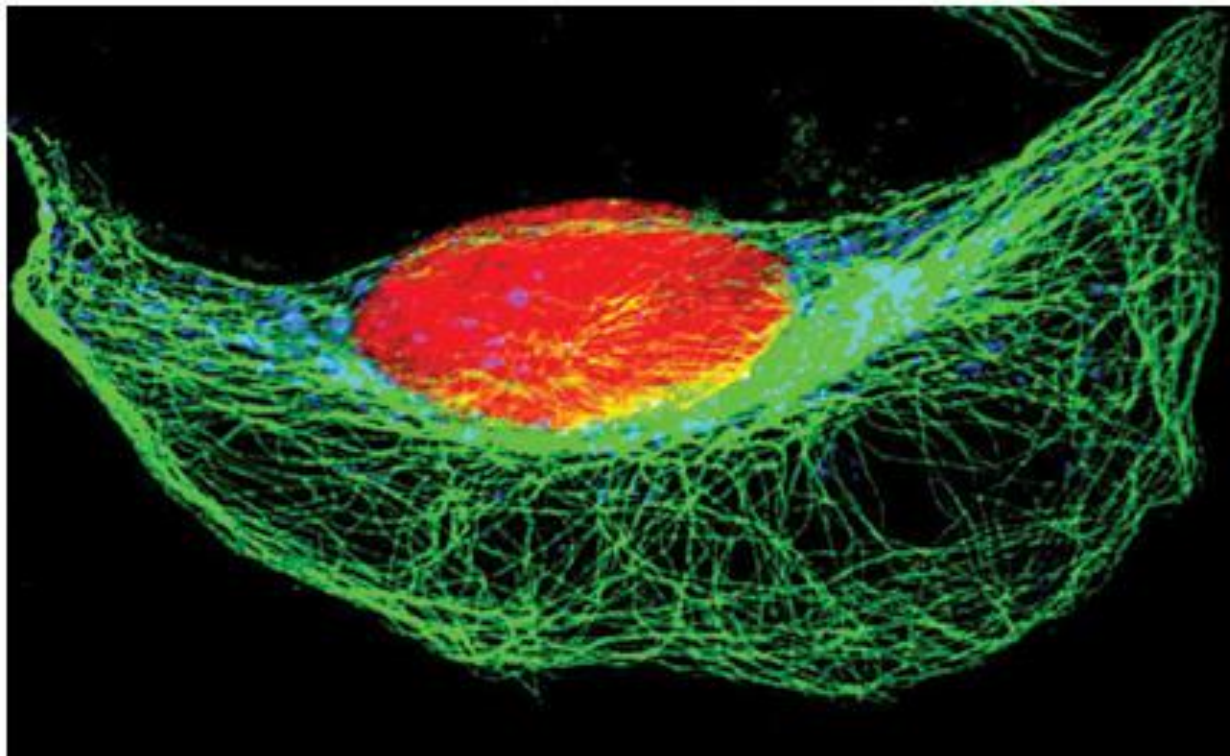
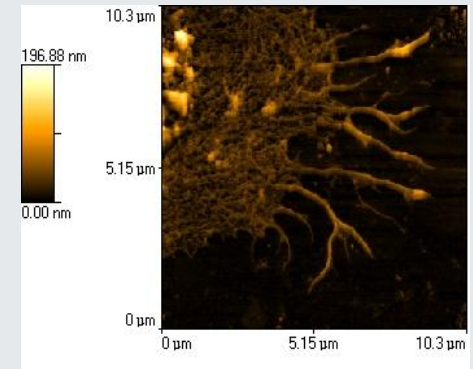
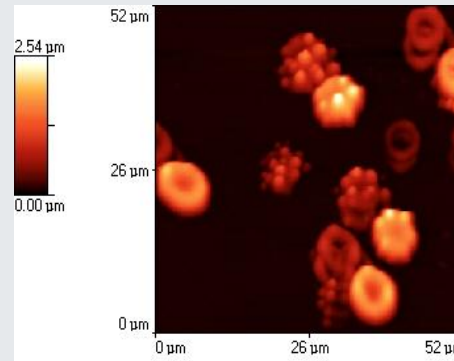
QLED

Новая эра ТВ

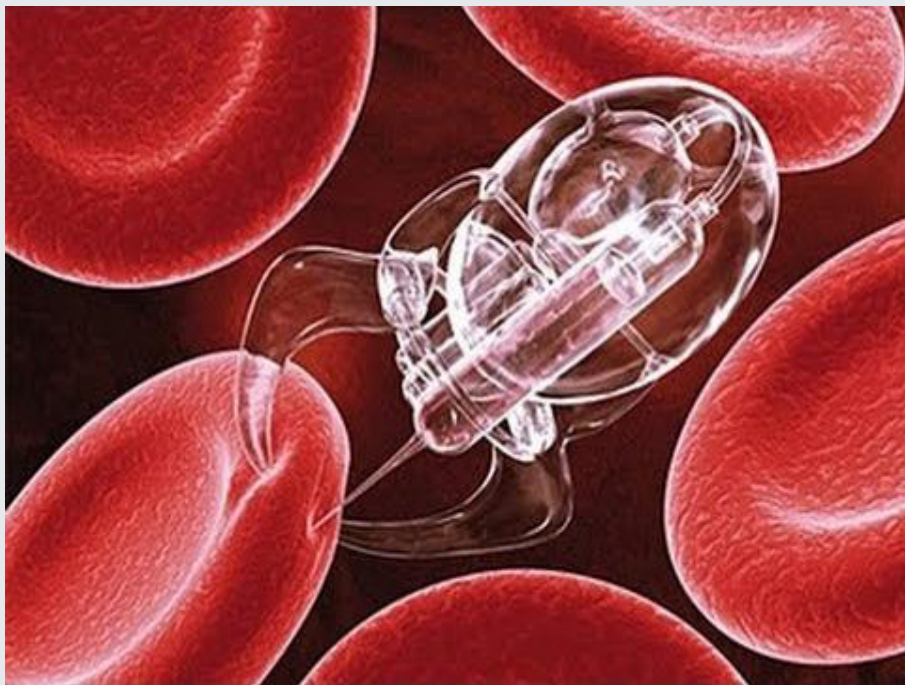


Применение квантовых точек в биологии и медицине

Структура клеток человека сложна и разнообразна. Для их исследования применяют метод флуоресцентных маркеров с использованием коллоидных квантовых точек.



Наномедицина – применение наноматериалов и нанотехнологий в практической медицине путем наблюдения и манипулирования объектами на молекулярном уровне.

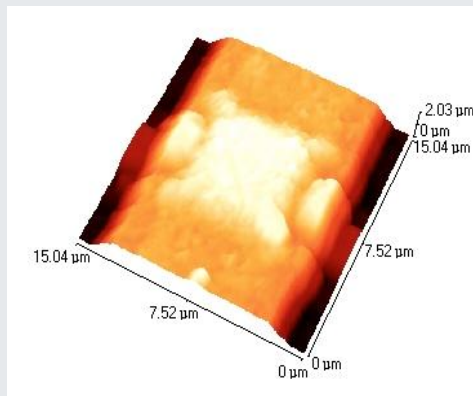
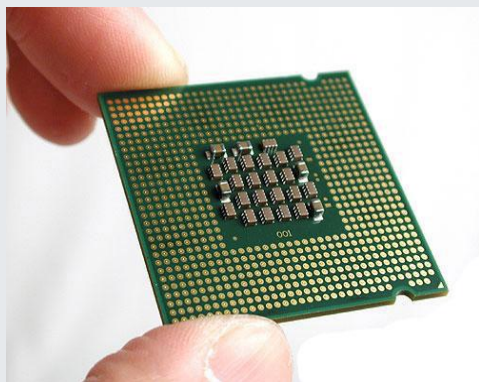


Нанолекарь будущего, блуждающий по кровеносной системе организма (художник Soneyl Jay)

Новые бактерицидные и противовирусные средства создаются на основе использования полезных свойств ряда наночастиц (например, наночастиц серебра). **Адресная доставка нанолекарств к больным клеткам** позволяет медикаментам попадать только в больные органы, избегая здоровые, которым эти лекарства могут нанести вред (нанофармакология). **Создание биосовместимых имплантов** из наноструктурированных материалов, нанокомпозитные материалы для протезов.

Нанoeлектроника

1970-1980

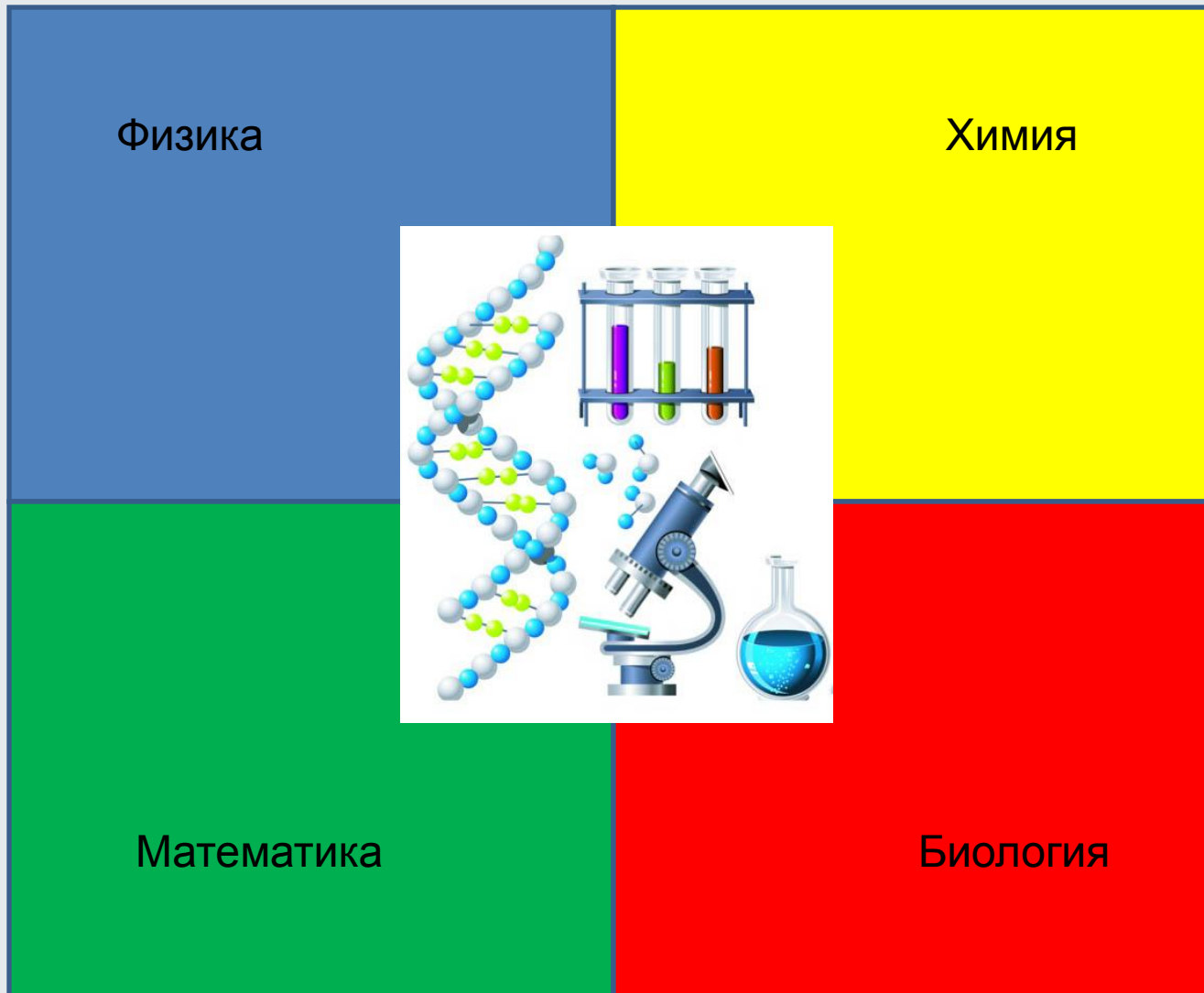


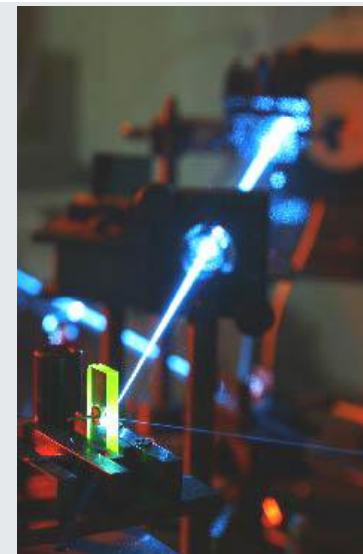
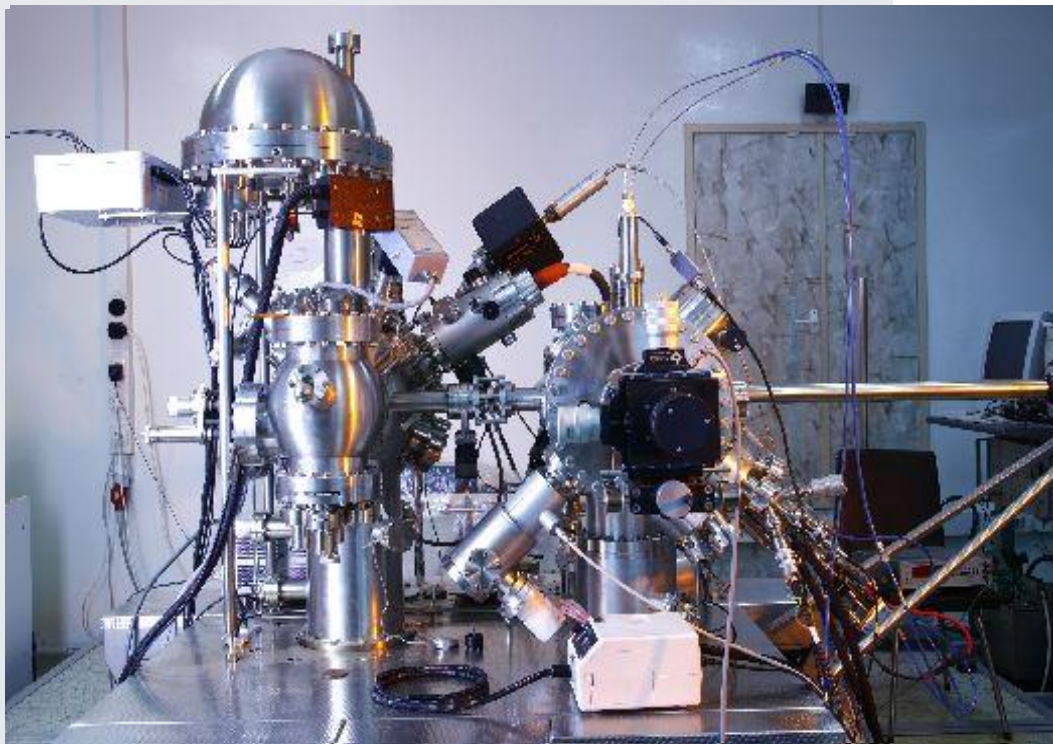
Сейчас



Нанoeлектроника – разработка физических и технологических основ создания интегральных электронных схем с характерными размерами элементов менее 100 нм. Сейчас массовое производство процессоров осуществляется с использованием 17-нм технологического процесса .

Нанонаука - междисциплинарна





С целью расширения возможностей и совершенствования существующей системы взаимодействия ННГУ с учащимися школ, их подготовки по программам инженерной направленности в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского в 2017 году на базе НОЦ ФТНС создан учебно-научный центр для школьников «Перспективные материалы и технологии».

Задача центра – ориентировать молодежь на инженерные и технические специальности в области создания перспективных материалов, технологий и устройств на их основе.

В 2017-2018 г.г. образовательный комплекс состоял из адаптированных для освоения старшеклассниками (учащимися 10-11 классов) **лекционных занятий, курса лабораторных работ**, выполняемым каждым школьником самостоятельно на сканирующем зондовом микроскопе NanoEducator, индивидуального выполнения старшеклассниками **учебно-исследовательских работ** совместно с преподавателями и научными сотрудниками ННГУ.



Расскажи мне, и я забуду.

Покажи мне, и я запомню.

Дай мне сделать самому,
и я пойму.

Конфуций



Учебно-научный центр для школьников

Образовательный комплекс в 2018-2019 г.г.

Аудиторный объем
комплекса
(30 часов)

Индивидуальная учебно-
исследовательская работа
(УИР) (10 часов)

Лекции об
актуальном
состоянии
современного
материаловедения,
методах
исследования
поверхности
твердого тела
(12 часов)

Практические
занятия с
преподавателями
Физического
факультета
(11 часов)

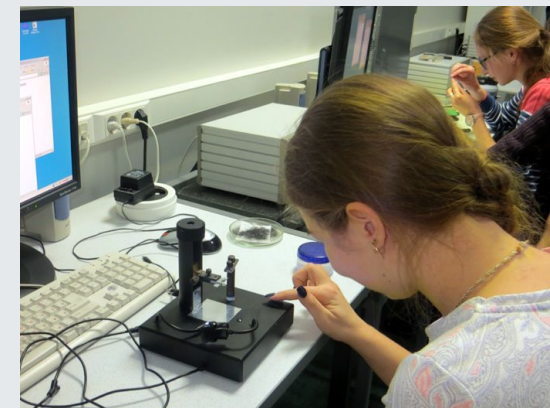
Лабораторные
занятия в учебно-
научной
лаборатории СЗМ
NanoEducator
(7 часов)

Индивидуальное
общение с научным
руководителем в
рамках выполнения
УИР
(5 часов)

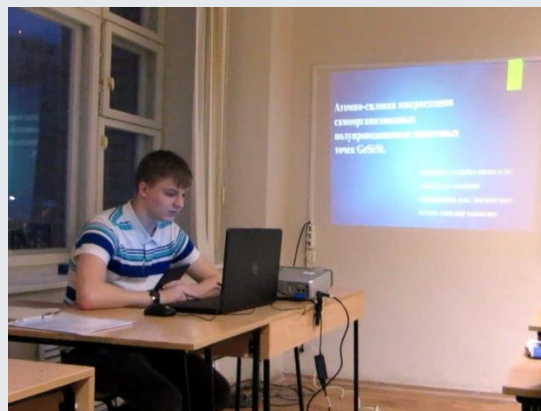
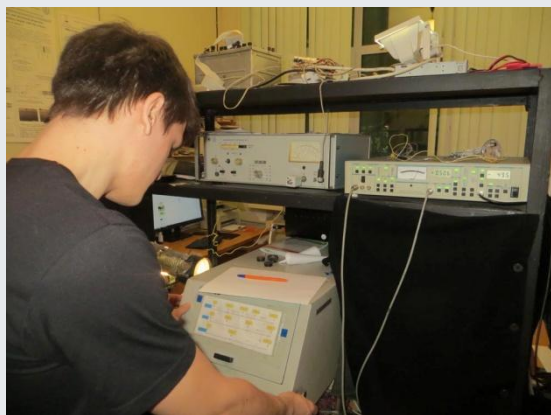
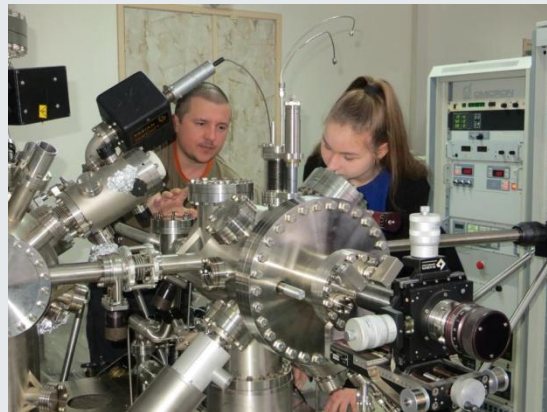
Выполнение УИР
на современном
исследовательском
оборудовании
НОЦ ФТНС
(2 часа)

Подготовка
презентации по
результатам
выполнения УИР
(2 часа)

Защита УИР на
семинаре
НОЦ ФТНС
(1 час)



2017-2018 учебный год: 9 учащихся 10-11 классов
2018-2019 учебный год: 11 учащихся 9-11 классов



Темы УИР связаны с текущими научно-исследовательскими проектами, грантами, договорами, выполняемыми в НИФТИ, на физическом факультете и в НОЦ ФТНС ННГУ.

Шесть старшеклассников успешно защитили проекты по результатам выполнения УИР на семинаре физическом факультете ННГУ (30 марта 2018 года) и на 48 городской конференции научного общества учащихся «Эврика» (14 апреля 2018 года)

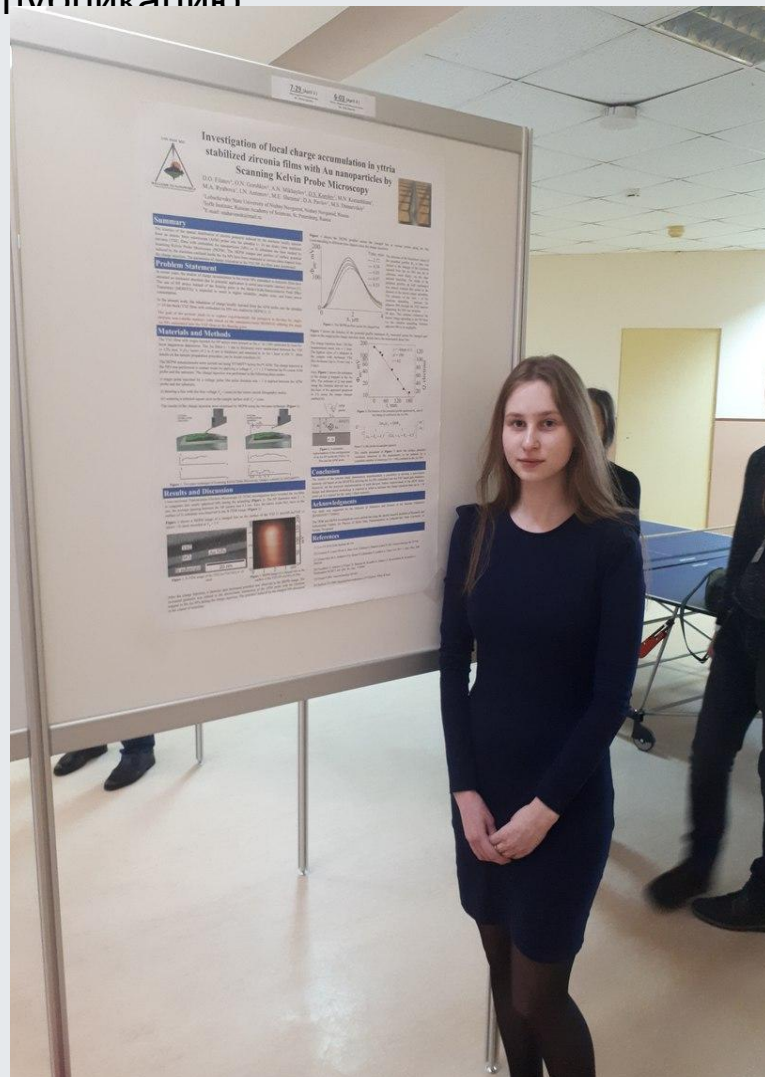


ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



Одна из школьниц участвовала в международной конференции и имеет научную публикацию

5^я международная школа-конференция "Saint-Petersburg OPEN 2018" по Оптоэлектронике, Фотонике и Нанобиотехнологиям (2-5 апреля 2018 г.)



Investigation of local charge accumulation in yttria stabilized zirconia films with Au nanoparticles by Scanning Kelvin Probe Microscopy
D.O. Filatov¹, O.N. Gorshkov¹, A.N. Mikhaylov¹, D.S. Korolev¹, M.N. Koriazhkina¹, M.A. Ryabova¹, I.N. Antonov¹, M.E. Shenna¹, D.A. Pavlov¹, M.S. Dunaevskiy²
¹Lobachevskii State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia
²Ioffe Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
E-mail: maltaevnok@mail.ru

Summary

The kinetics of the spatial distribution of electric potential induced by the electrons locally injected from an atomic force microscope (AFM) probe into the ultrathin (~ 10 nm thick) yttria stabilized zirconia (YSZ) films with embedded Au nanoparticles (NPs) on Si substrates has been studied by Scanning Kelvin Probe Microscopy (SKPM). The SKPM images and profiles of surface potential induced by the electrons confined inside the Au NPs have been measured at various times elapsed from the charge injection. The parameters of charge relaxation in the YSZ-NP-Au films were determined.

Problem Statement

In recent years, the studies of charge accumulation in the metal NPs embedded in dielectric films have attracted an increased attention due to potential application in novel non-volatile memory devices [1]. The use of NP arrays instead of the floating gates in the Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistors (MOSFETs) is expected to result in higher reliability, smaller sizes, and lower power consumption.

In the present work, the relaxation of charge, locally injected from the AFM probe into the ultrathin (~ 10 nm thick) YSZ films with embedded Au NPs was studied by SKPM [2, 3].

The goal of the present study was to explore experimentally the prospects to develop the single-electron non-volatile memory cells based on the nanometer-sized MOSFETs utilizing the single Au NP embedded into the YSZ films as the floating gates.

Materials and Methods

The YSZ films with single-layered Au NP arrays were formed on the *n*-Si (100) substrates by layer-by-layer magnetron sputtering. The Au films (~ 1 nm in thickness) were sandwiched between the YSZ (~ 12% mol. Y₂O₃) layers of 20 to 30 nm in thickness and annealed in O₂ for 1 hour at 450°C. More details on the sample preparation procedure can be found elsewhere [4].

The SKPM measurements were carried out using NEMD1[®] Solver Pro™ AFM. The charge injection in the NPs was performed in contact mode by applying a voltage $V_p = 1 - 3$ V between the Pt-coated AFM probe and the substrate. The charge injection was performed in the following three modes:

- i) single point injection by a voltage pulse (the pulse duration was ~ 1 s) applied between the AFM-probe and the substrate;
- ii) drawing a line with the bias voltage $V_p = \text{const}$ (in the vector current lithography mode);
- iii) scanning a selected square area on the sample surface with $V_p = \text{const}$.

The results of the charge injection were examined by SKPM using the two-pass technique (Figure 1).

Figure 4 shows the SKPM profiles across the charged line at various points along the line (corresponding to different time elapsed since the charge injection).

The decrease of the maximum values of the potential profiles Φ_m in time was related to the leakage of the electrons injected from the Au NPs into the Si substrate, most likely via the unpassivated tunneling. The width of the potential profiles (at half maximum) was almost constant that points to the absence of the lateral charge spreading. The estimate of the tunneling time τ of the electrons between the adjacent NPs through the YSZ barriers separating the NPs has revealed $\tau \approx 60$ days. This estimate evidenced the lateral charge spreading in the NP layer via the electron tunneling between adjacent NPs to be negligible.

Figure 5 shows the kinetics of the potential profile maximum Φ_m , measured across the charged spot made in the single-point charge injection mode, which obeys the exponential decay law:

The charge retention time τ for this measurement series was ≈ 1 hour. The highest value of τ obtained in the sample with increased YSZ film thickness (up to 10 nm) was ≈ 3 days.

Also, **Figure 5** shows the estimate of the charge Q trapped in the Au NPs. The estimate of Q was made using the formula derived out on the base of the approach proposed in [5] using the image charges method [6]:

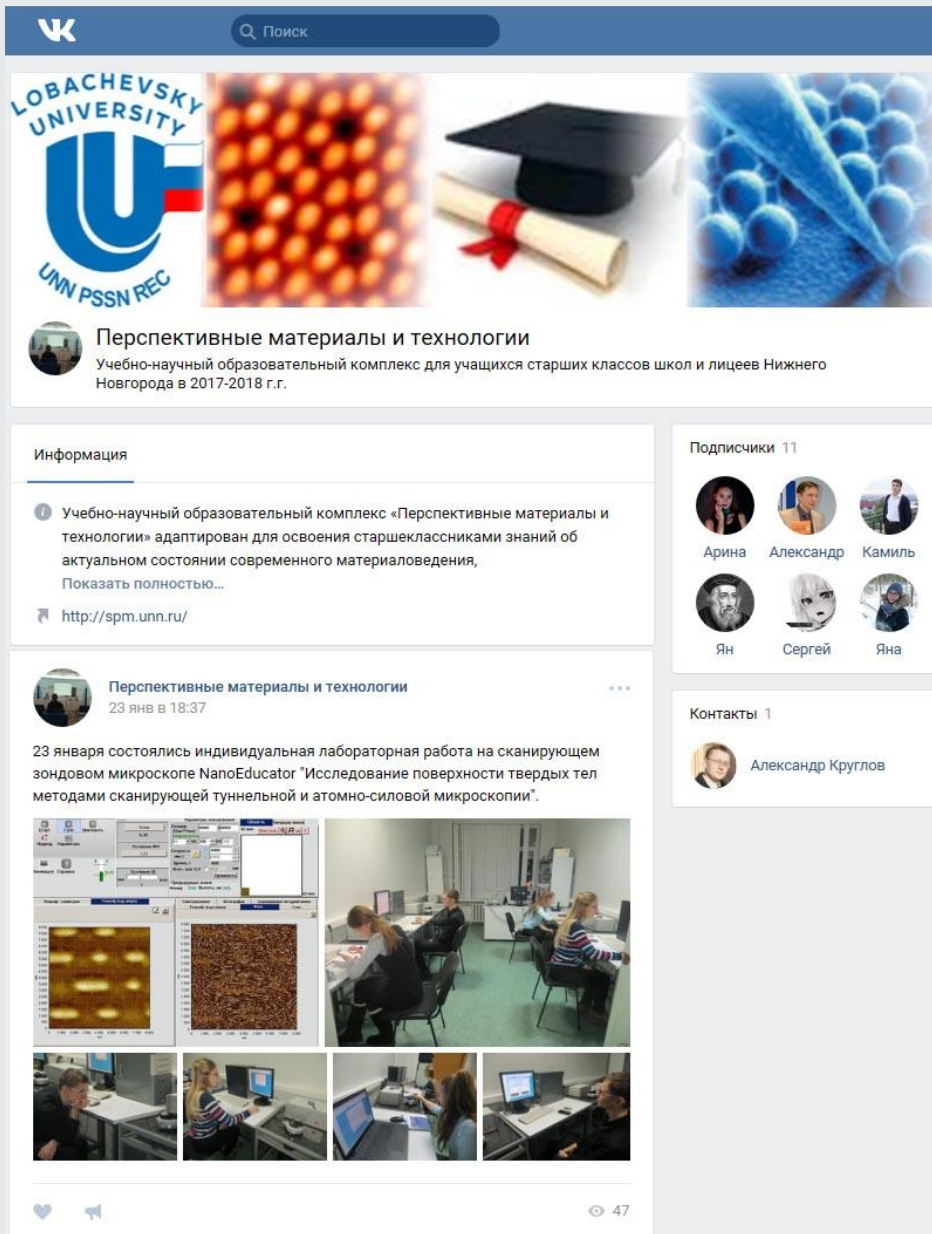
Figure 6. A schematic representation of the configuration of an Au NP inside the YSZ/n-Si film and the AFM probe.

Here C is the probe-to-sample capacity.

The results presented in **Figure 5** show the surface potential variations observed in the experiments to be induced by a countable number of electrons (10–100) confined in the Au NPs.

Conclusion

The results of the present study demonstrate experimentally a possibility to develop a non-volatile memory



VK Поиск

LOBACHEVSKY UNIVERSITY
UNN PSSN REC

Перспективные материалы и технологии
Учебно-научный образовательный комплекс для учащихся старших классов школ и лицеев Нижнего Новгорода в 2017-2018 г.г.

Информация

Учебно-научный образовательный комплекс «Перспективные материалы и технологии» адаптирован для освоения старшеклассниками знаний об актуальном состоянии современного материаловедения,
[Показать полностью...](#)

<http://spm.unn.ru/>

Подписчики 11



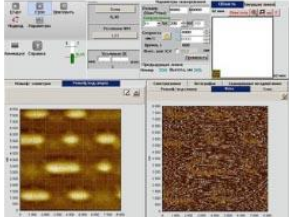
Арина Александр Камиль
Ян Сергей Яна

Контакты 1

Александр Круглов

Перспективные материалы и технологии
23 янв в 18:37

23 января состоялась индивидуальная лабораторная работа на сканирующем зондовом микроскопе NanoEducator "Исследование поверхности твердых тел методами сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии".



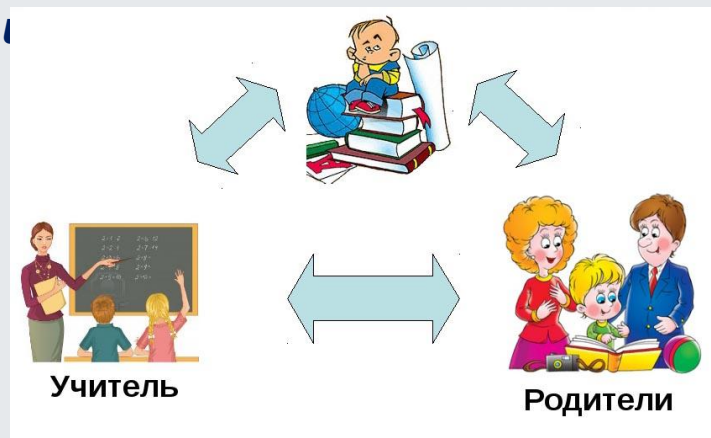
47

✓ Создана группа в социальной сети Вконтакте
https://vk.com/unn_school

✓ Мероприятия комплекса (лекции, практические и лабораторные занятия) записываются на видео

✓ Видеозаписи, презентации лекций, учебно-методические материалы выкладываются в сети Интернет

В рамках НОУ «Эврика» выполнена пробная учебно-исследовательская работа со школьницей 2 класса Нижегородской гимназии «Создание рисунка в наномасштабе или... как Смешарики ответят



В результате совместной проектной деятельности дети и родители узнают много нового друг о друге, родители лучше **понимают проблемы** своих детей, дети восполняют **дефицит общения** с родителями, у них формируется значимое отношение к понятию «**семья**».

Спасибо за внимание!