Учреждение Российской академии наук Институт спектроскопии РАН,
г. Троицк, Московская обл., Россия

Московский физико – технический институт (Государственный университет)
г. Долгопрудный, Московская обл., Россия

Оптические Антенны и их Исследование Методами Сканирующей Зондовой Микроскопии

Афанасьев А.Е.[1, 2] *Мелентьев П.Н.*[1], *Лапшин Д.А.*[1], *Балыкин В.И.*[1], *А.А. Кузин*[2], *А.В. Заблоцкий*[2], *А.С. Батурин*[2]

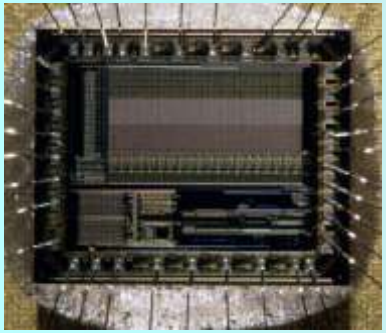
1 Учреждение Российской академии наук Институт спектроскопии РАН
2 Московский физико-технический институт

Содержание

- Введение
- Оптические наноантенны
- Распределение электромагнитного поля вблизи оптических наноантенн
- Атомная камера-обскура
- Экспериментальная реализация оптических антенн
- Заключение

Области Применения Наноструктур

Микро / нано электроника

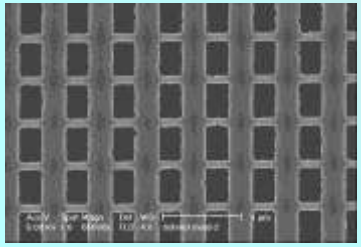


Транзисторы
Микрочипы
Датчики
Память
Дисплеи

Микро/нано – Электро Механические Системы (MEMS/NEMS)

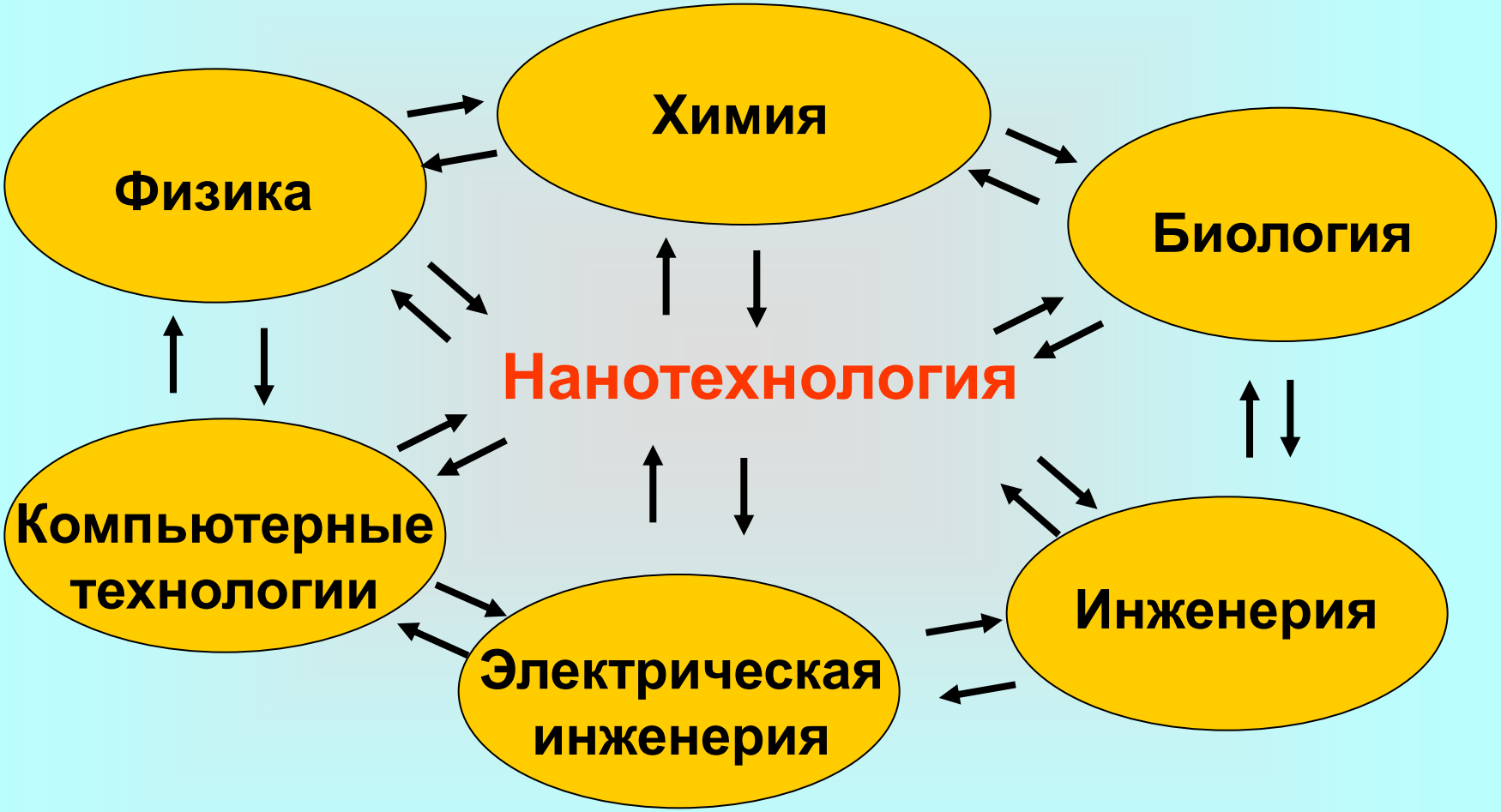
Сенсоры
Адаптивная оптика
Контроллеры потоков

Метаматериалы

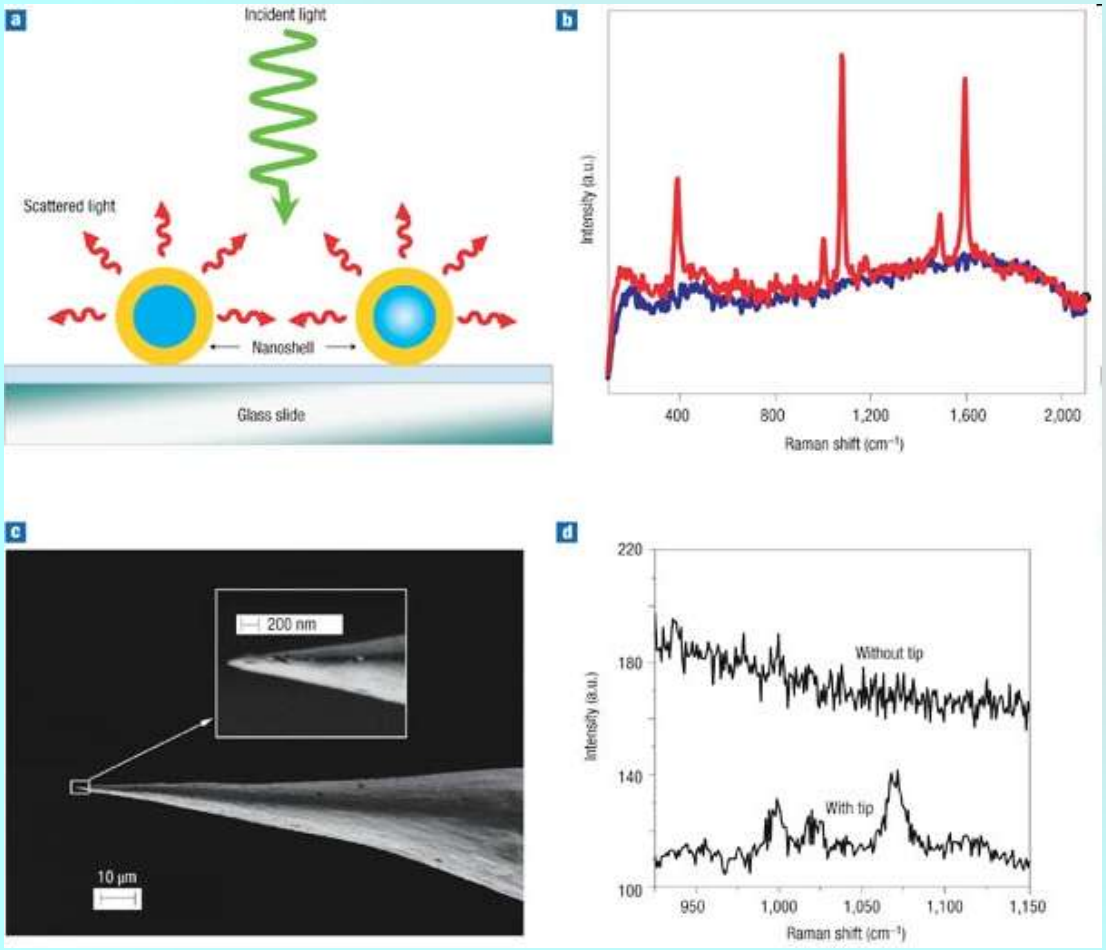


Резонаторы
Линзы
Антенны
Поглотители
Согласователи

Структура нанотехнологий



Гигантское комбинационное рассеяние света



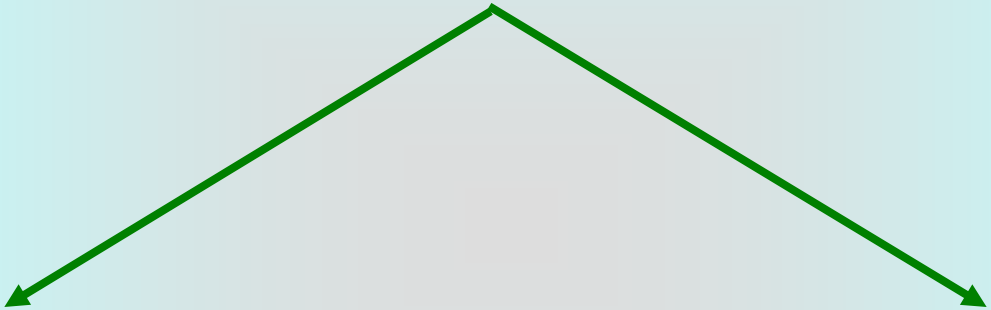
Увеличение рассеяния

10^{14}-10^{15}

Nature photonics, v.1, p.641 (2007)

Гигантское комбинационное рассеяние света

Исследование



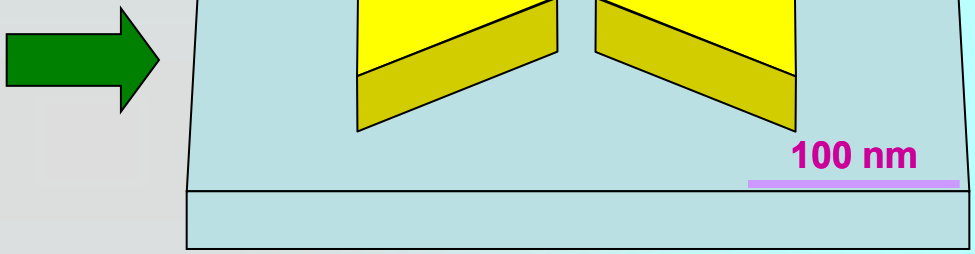
Фундаментальные причины

Причины усиления комбинационного рассеяния?

Практическое использование

Создание высокочувствительных сенсоров

Оптические наноантенны.

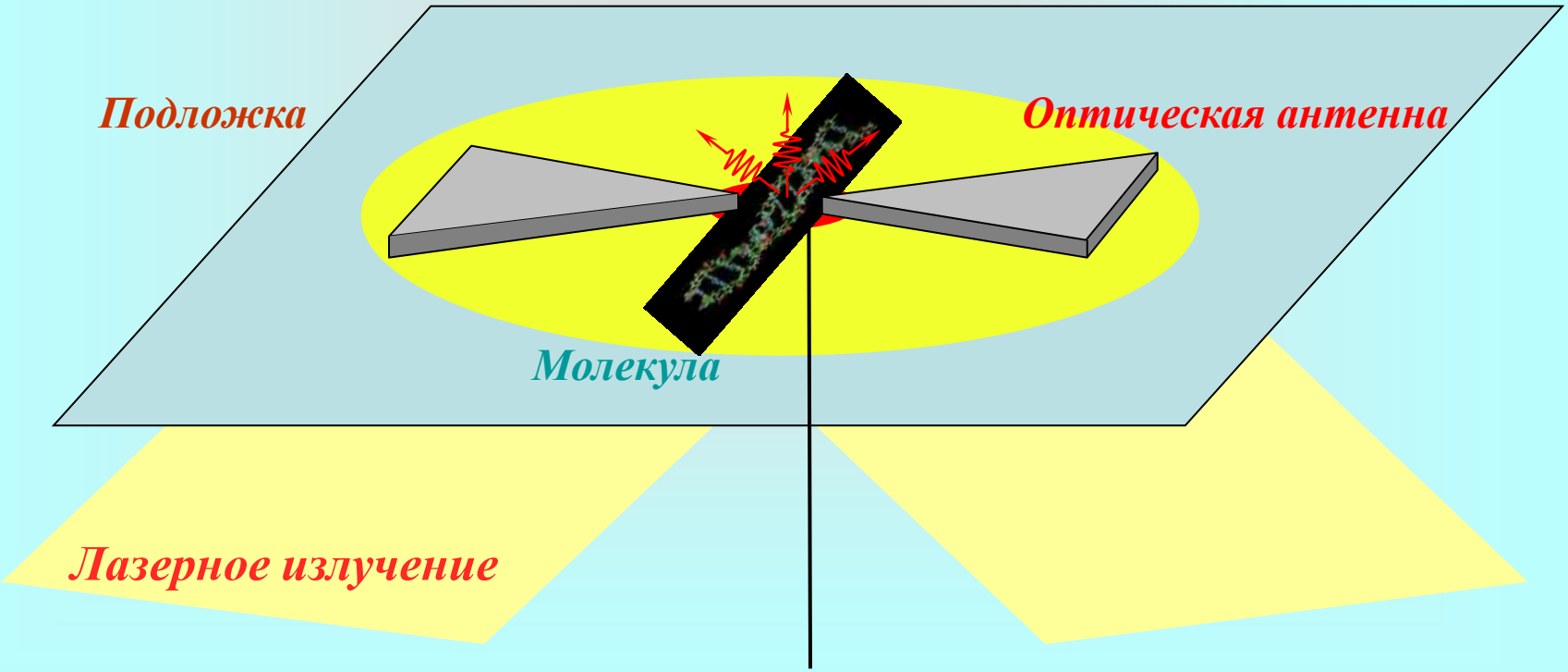


Прием радиоизлучения

Прием оптического излучения

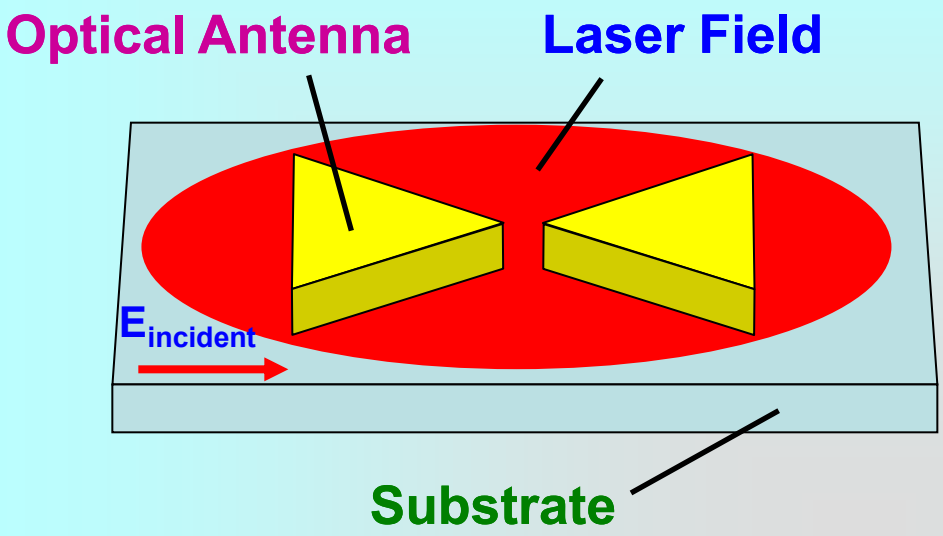
Оптичекие антенны могут быть использованы для **увеличения взаимодействия** дифракционно-ограниченного **возбуждающего излучения и флуоресцирующей молекулы**, размер которой много меньше длины волны возбуждающего излучения.

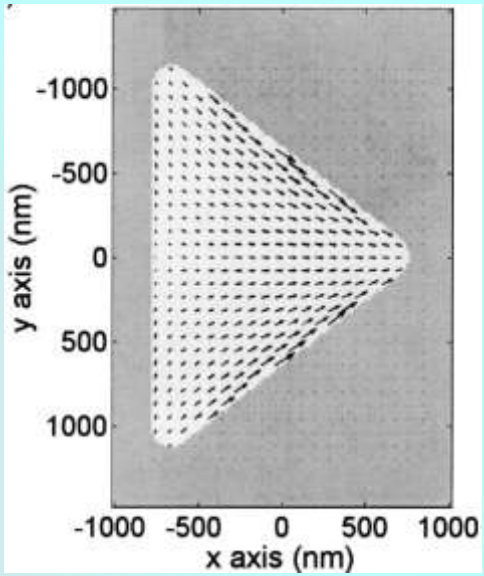
Оптические наноантенны.

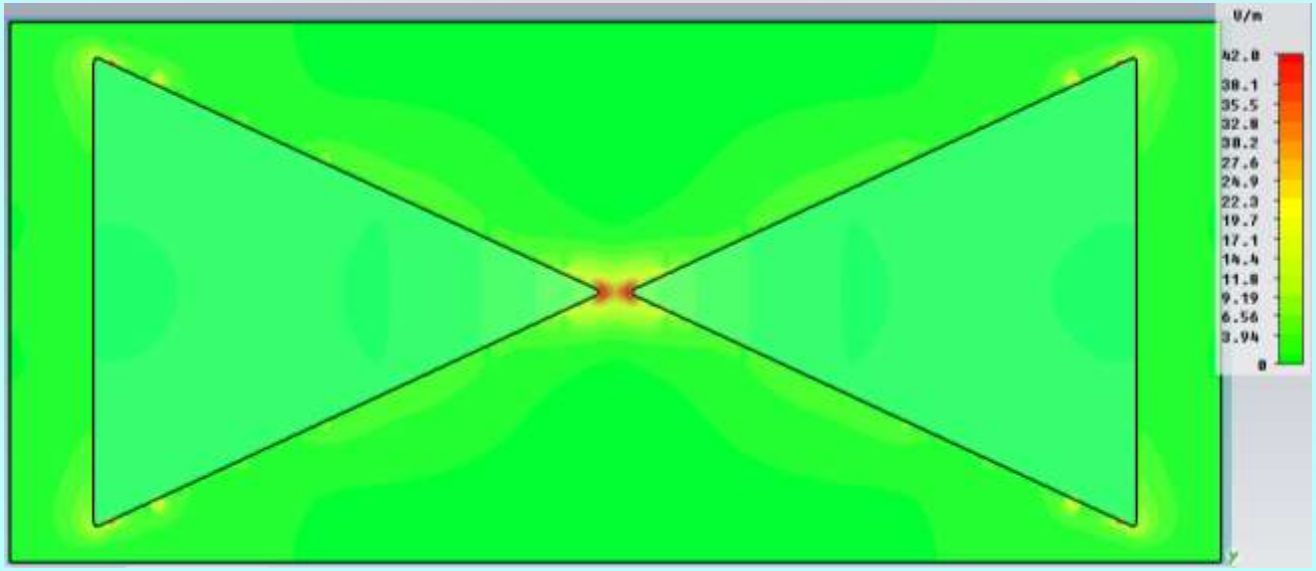


Усиление поля $(E/E_0)^2 \sim 10^4$

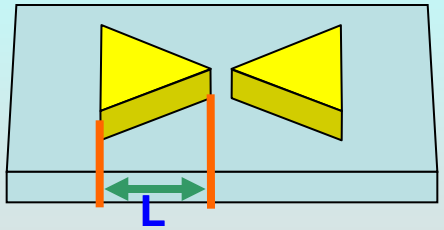
Оптические наноантенны.

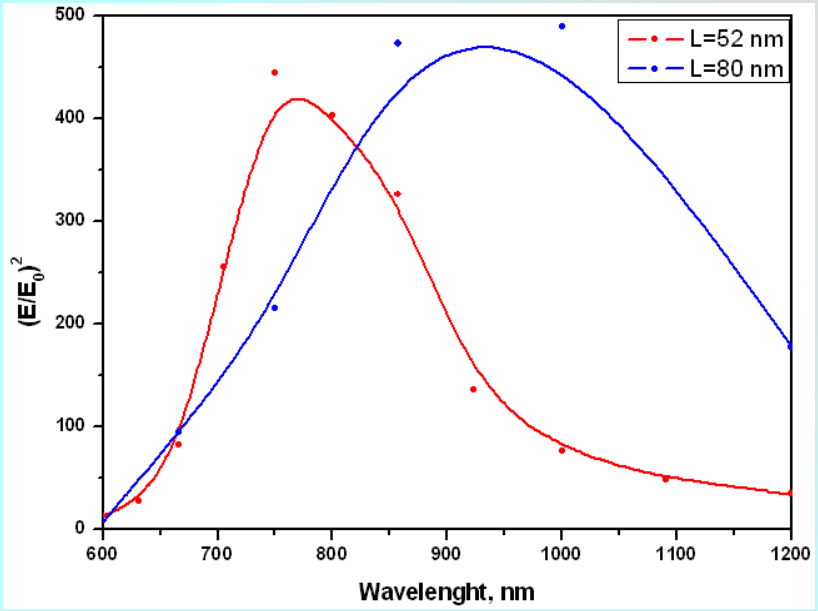


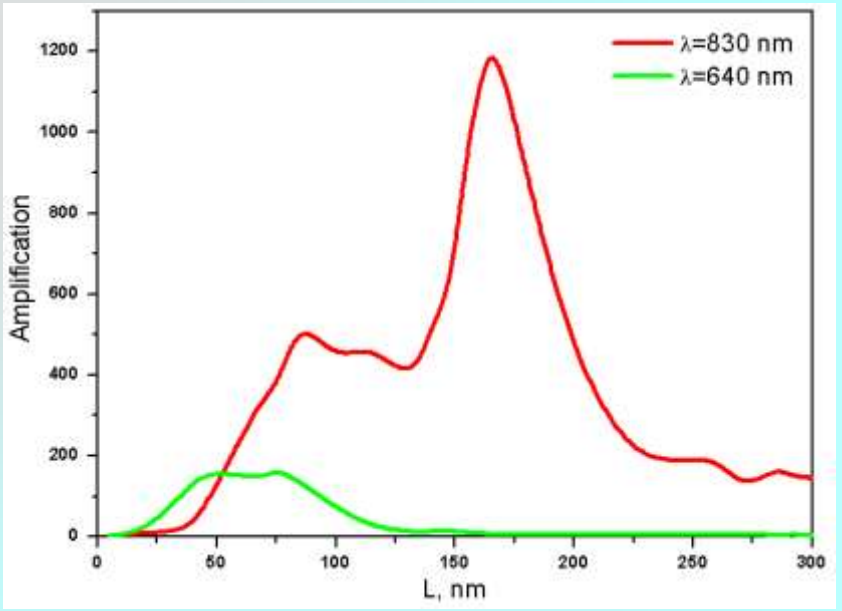




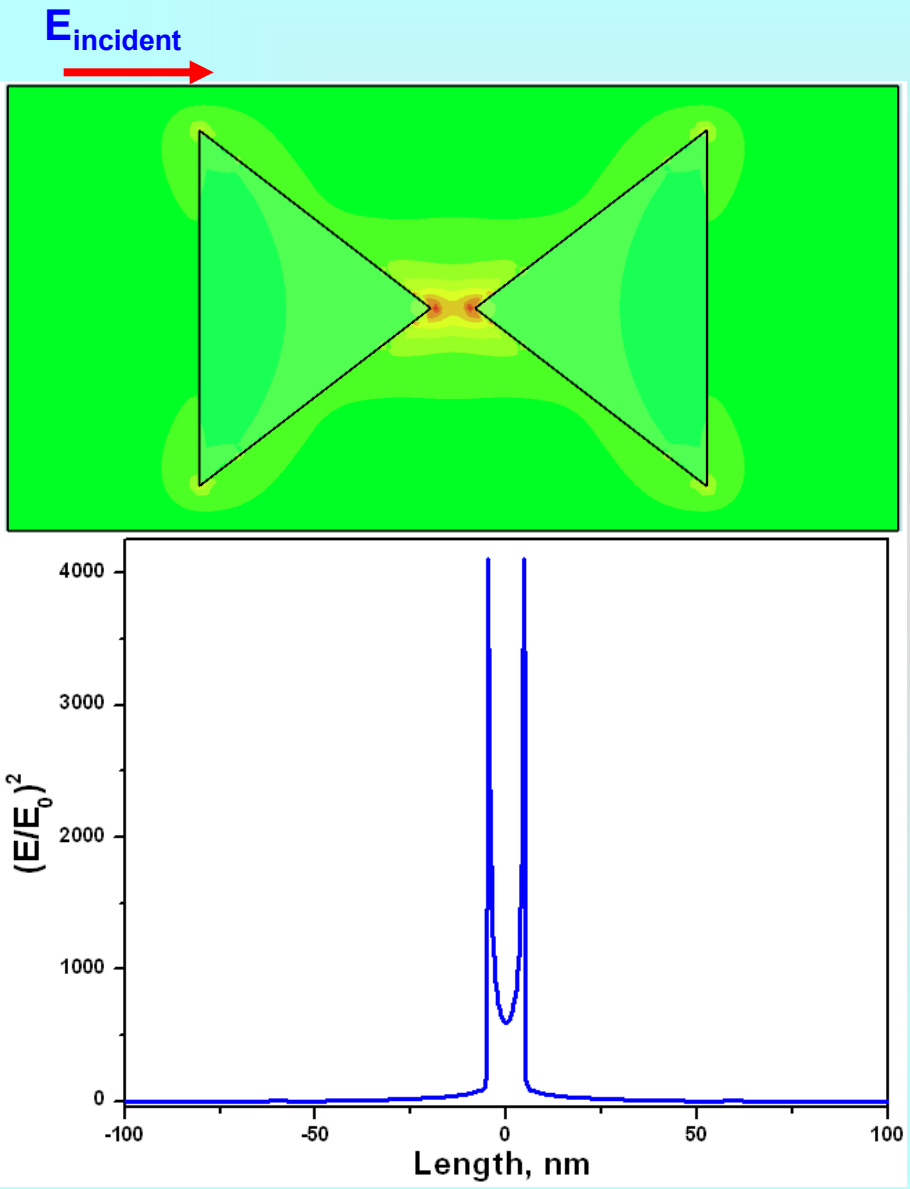
Оптические наноантенны.



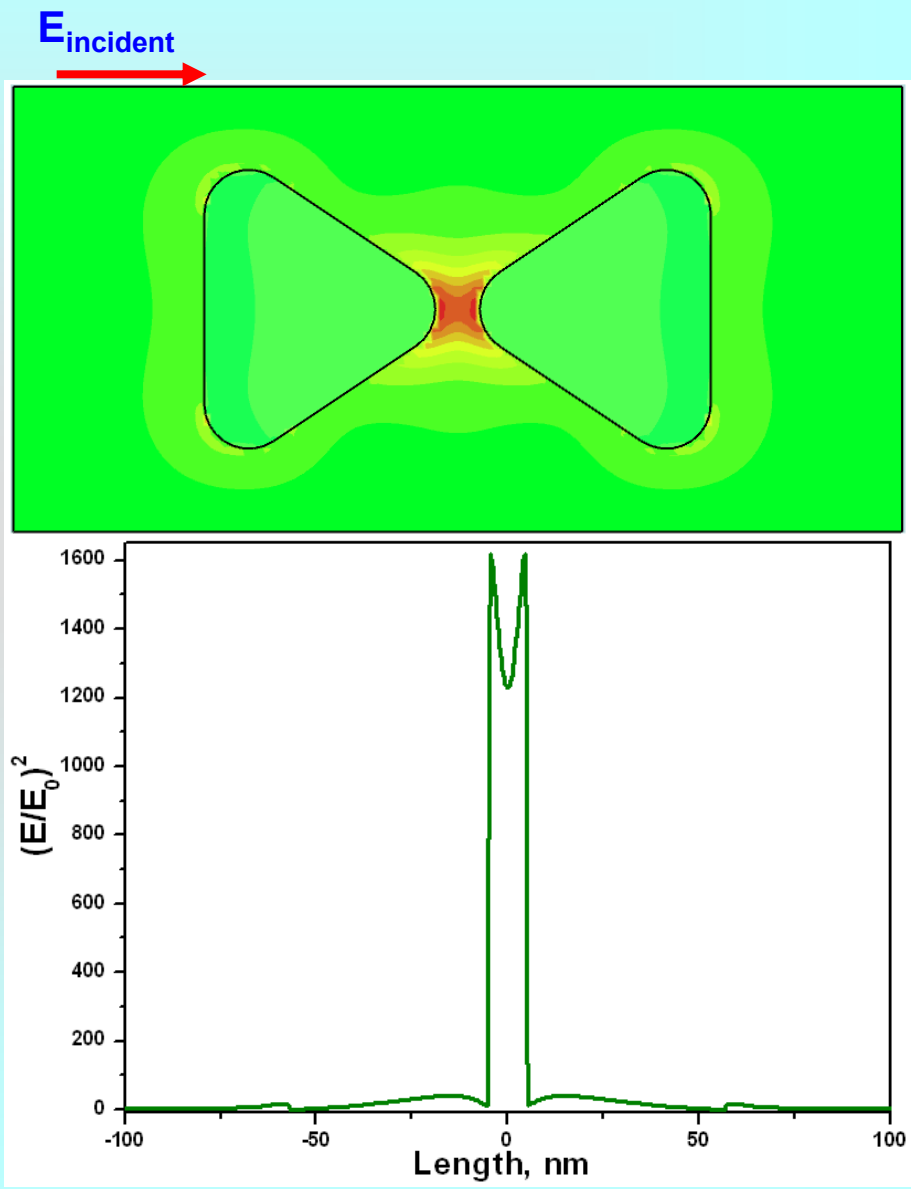




Оптические наноантенны.

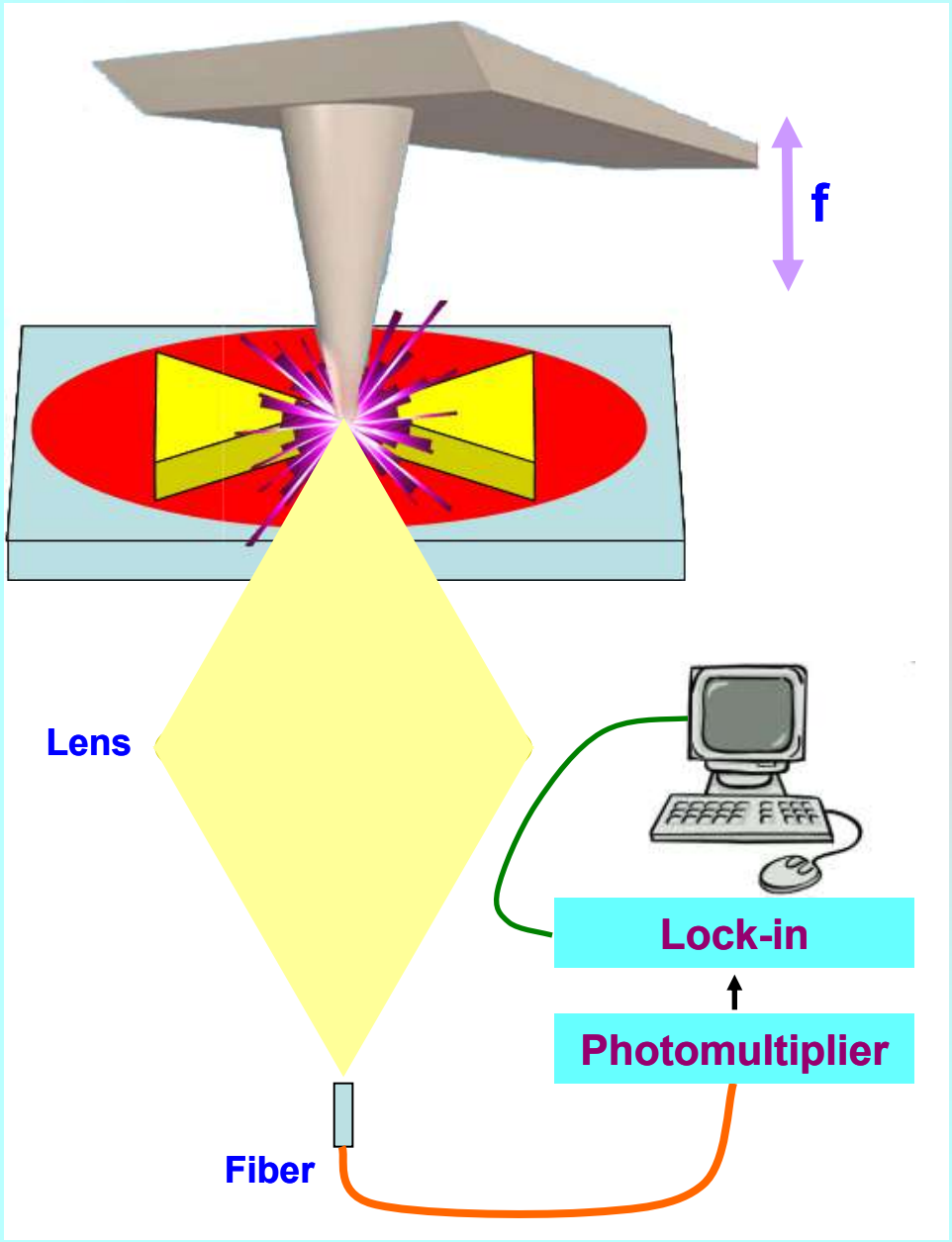


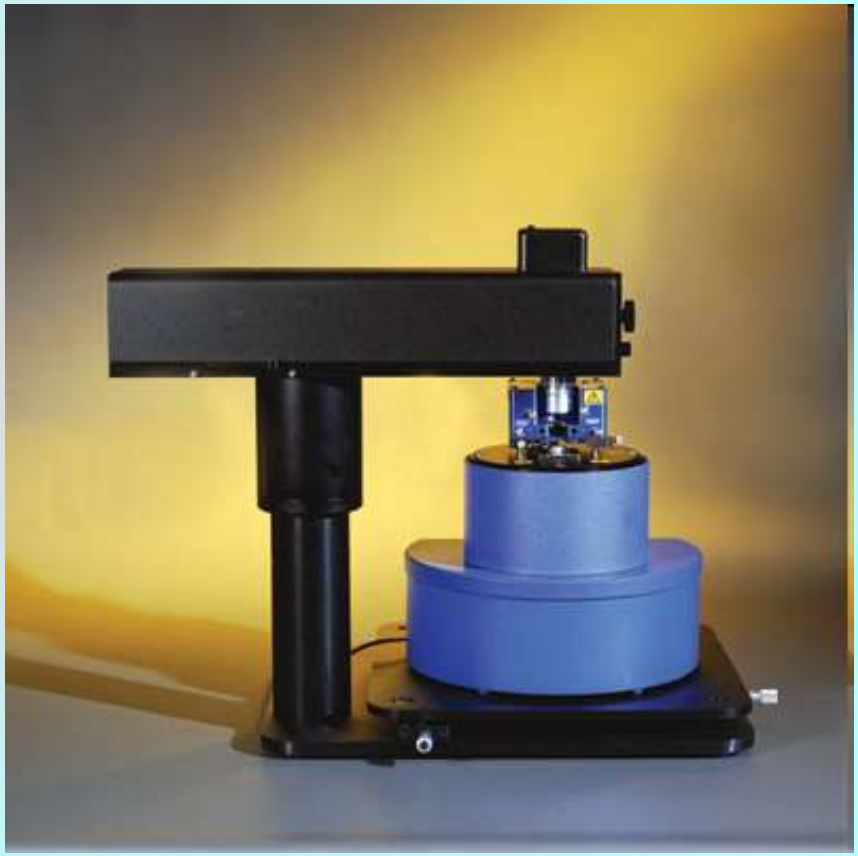
R=0 nm



R=10 nm

Регистрация Распределения Ближнего Поля





Veeco

Проблемы Регистрации Ближнего Поля

Малый уровень регистрируемого сигнала

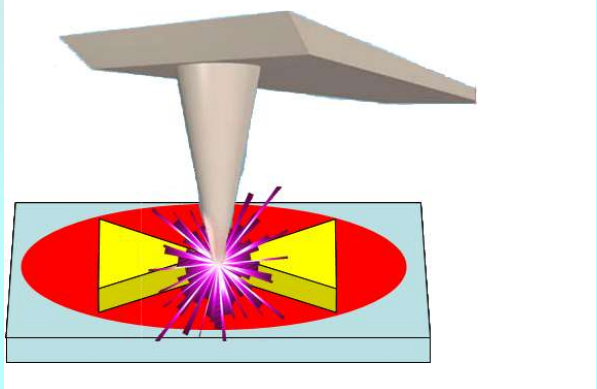
(рассеяние типа кантилевера)

Высокий уровень шумов

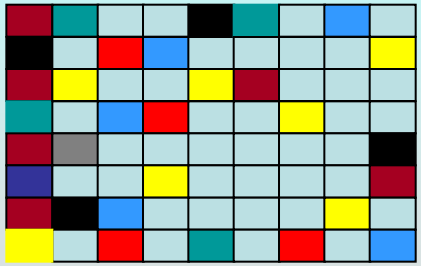
(рассеяние лазерного излучения неровностями поверхности)

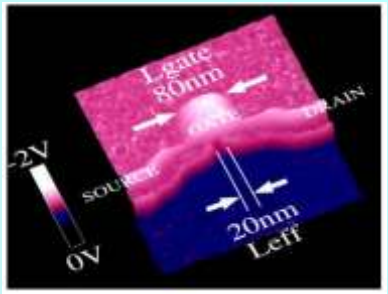
Интерференция излучения

(отраженное от кантилевера силовое излучение когерентно с рассеянным типом)

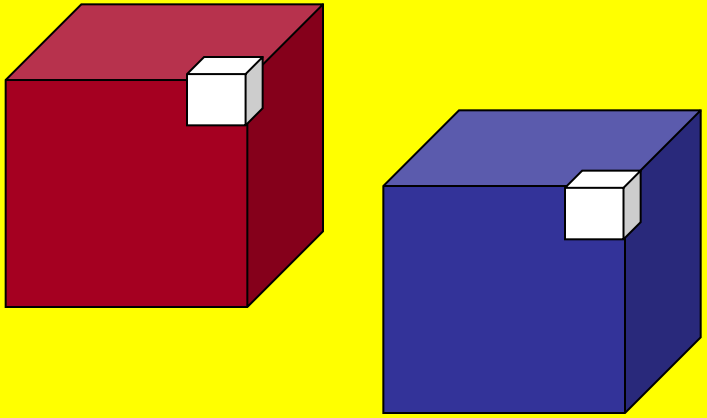


Принципы Создания Наноструктур

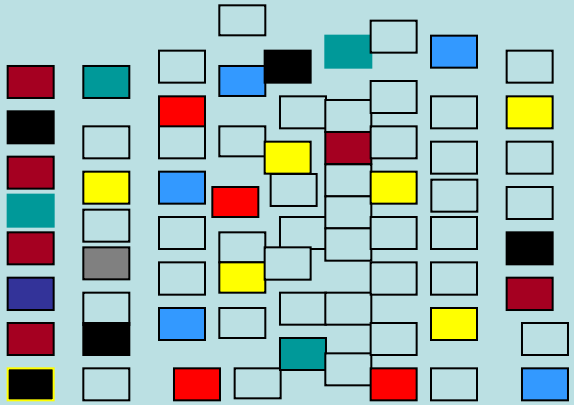




Top down lithography



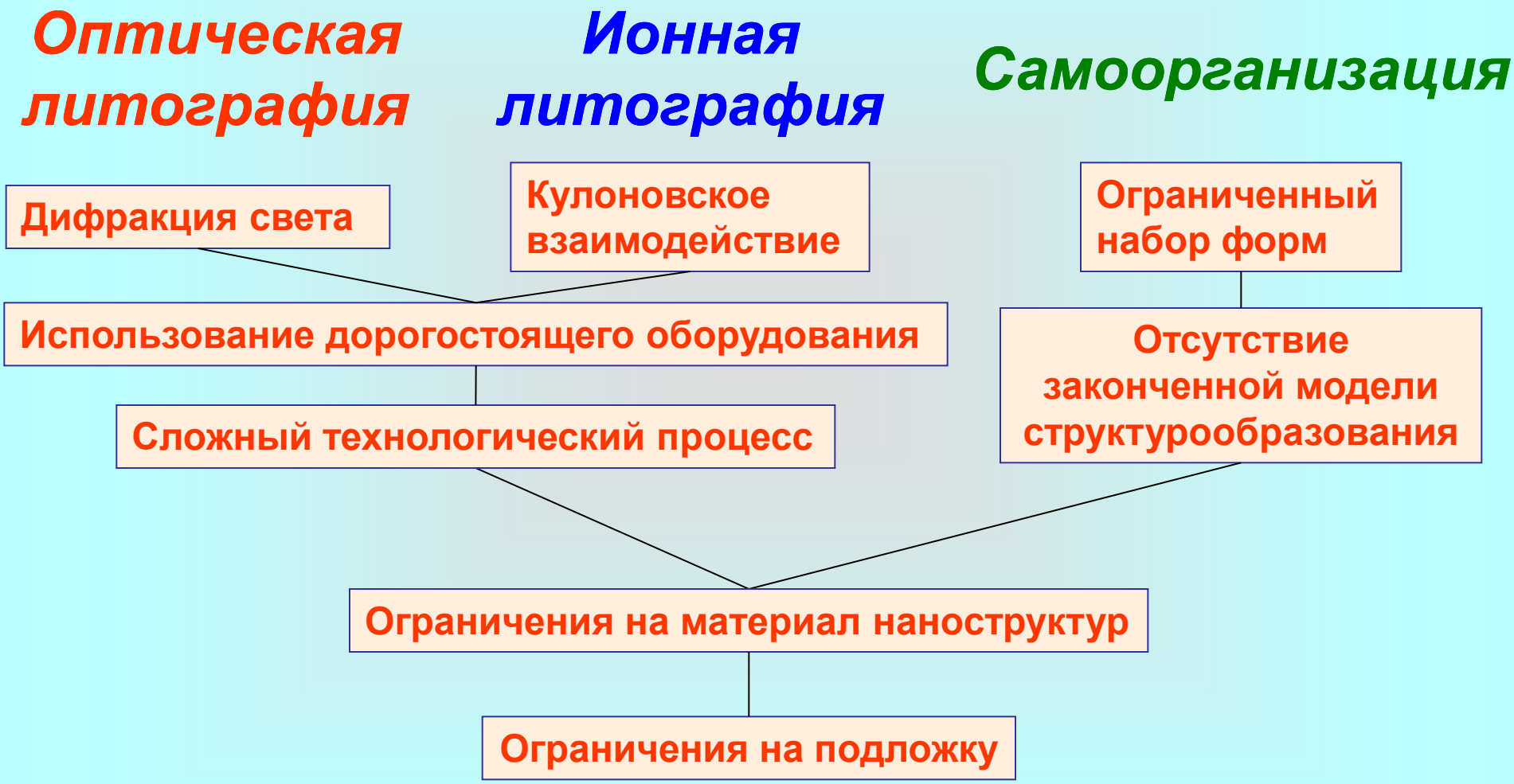
Bottom up lithography



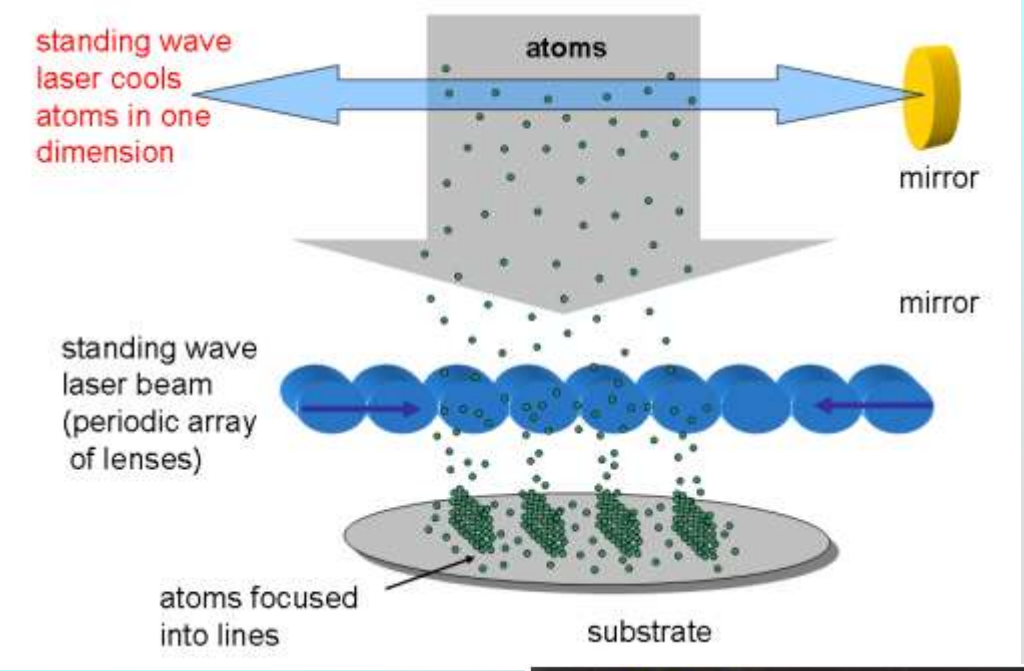
Bulk materials

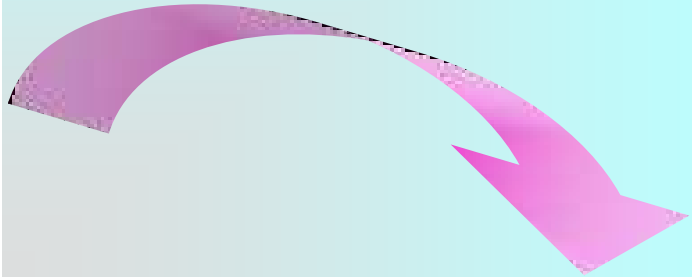
Atom, Molecules, Clusters,..

Ограничения Методов Литографии

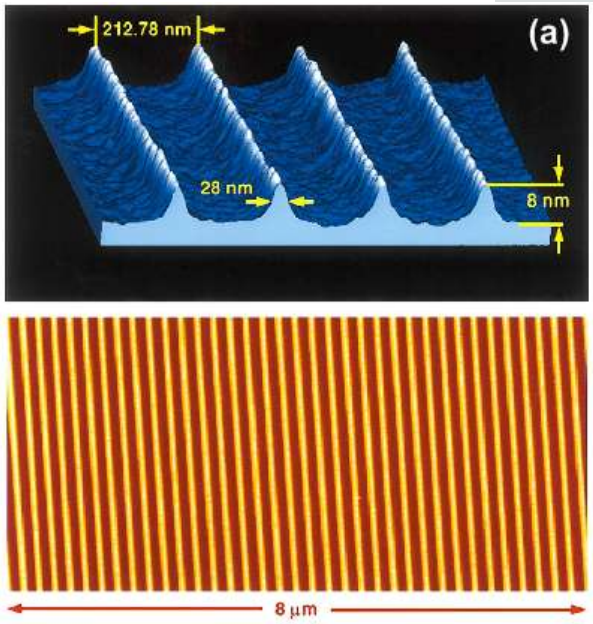


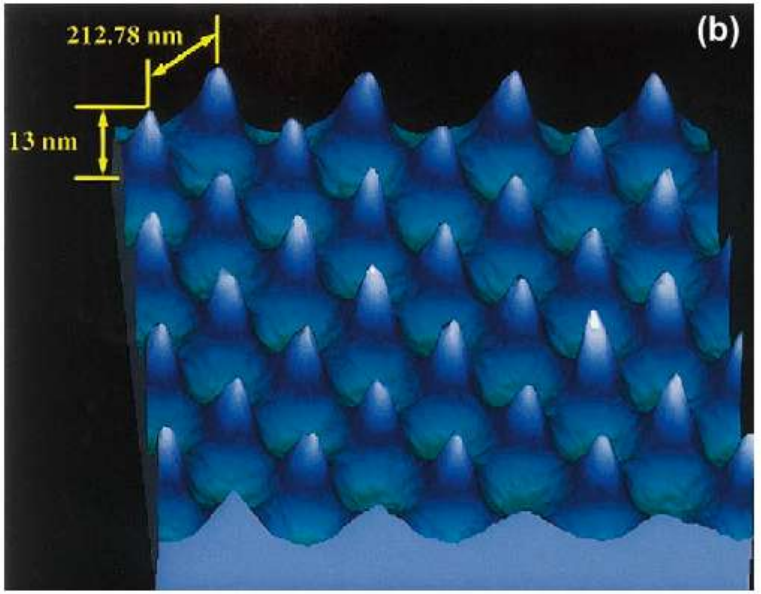
Литографии Методами Атомной Оптики





J. J. McClelland





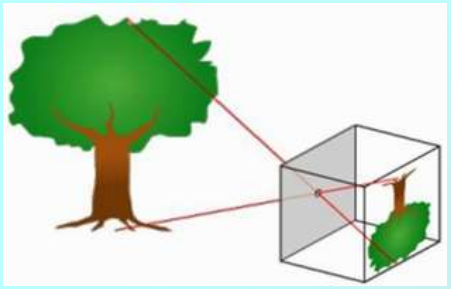
Преимущества Использования Нейтральных Атомов

Малая длина волны де Бройля

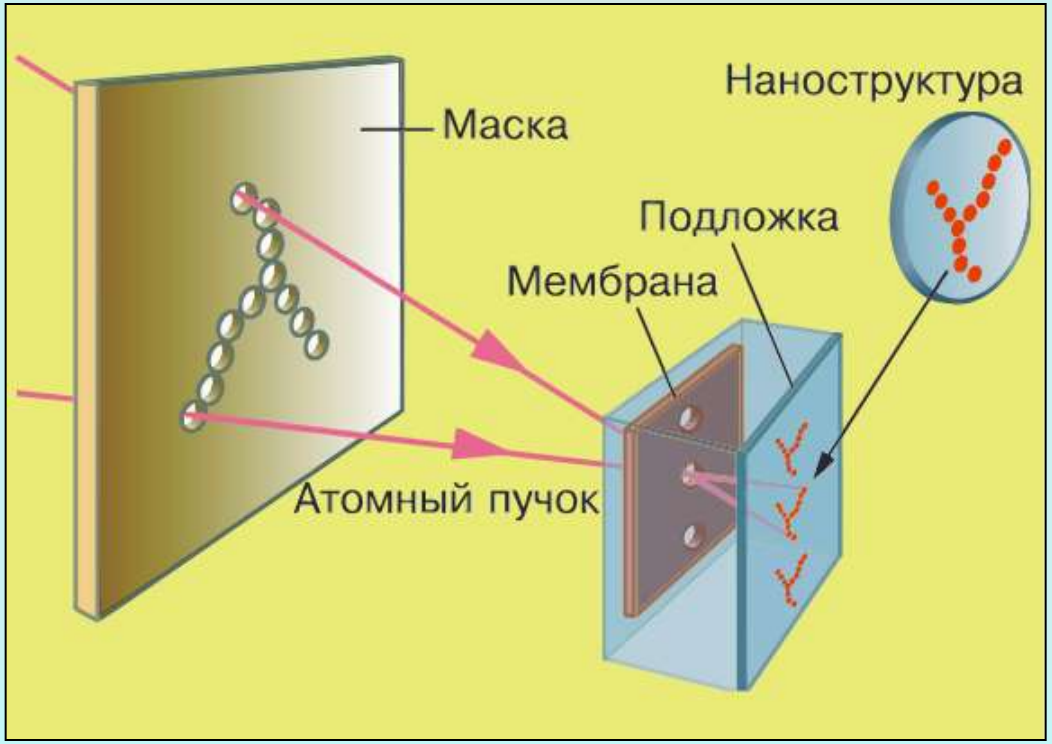
Отсутствие электрического заряда

Малая кинетическая энергия атомов

Атомная Камера-Обскура



Построение атомных «изображений» в геометрическом приближении Атомной Оптики

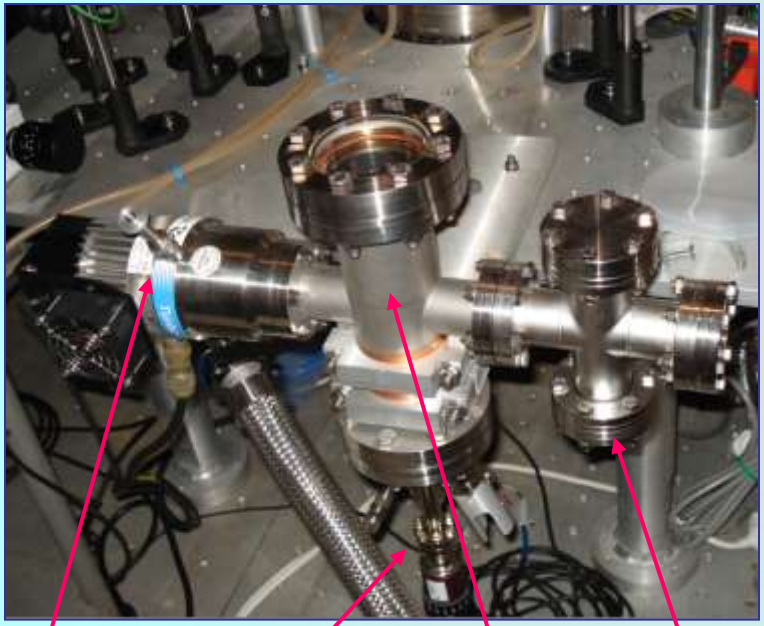


$$\lambda_{dB} \ll d_{hole}$$

$$H_{object} / h_{image} = L / l \sim 10^3 \div 10^4$$

Экспериментальная установка для нанолитографии

Фотография установки



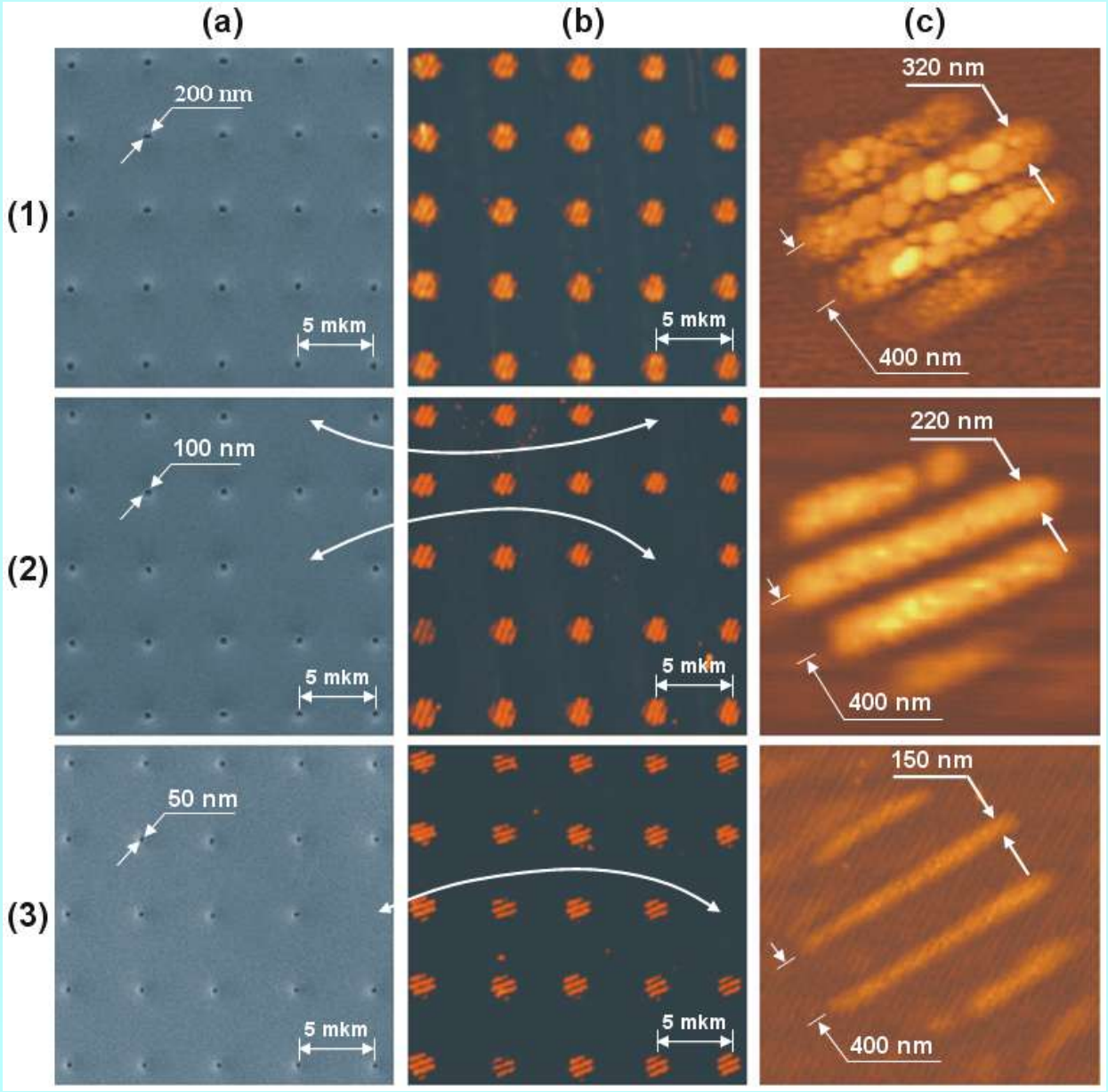
Допустимые материалы для создания наноструктур:
Zn, Mg, Ca, In, Ag, Ga, Al, Cu, Au, Ge, Fe, Cr и др.

Контроль высоты создаваемых наноструктур

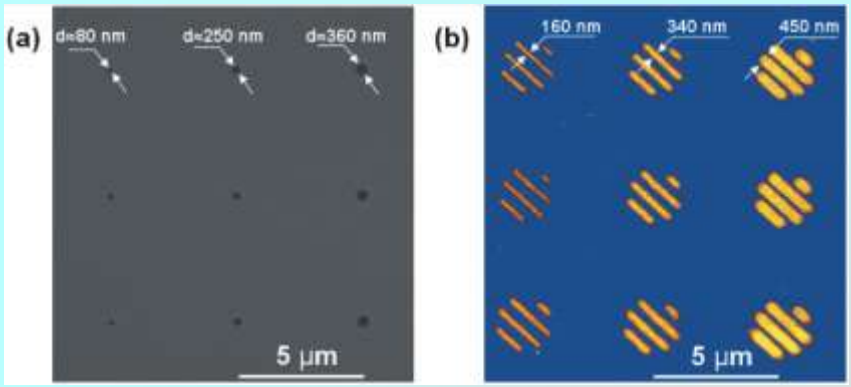
Давление остаточного газа в камере < 10^{-9} Торр

Время создания наноструктур заданной формы на подложке < 15 мин.

Примеры наноструктур

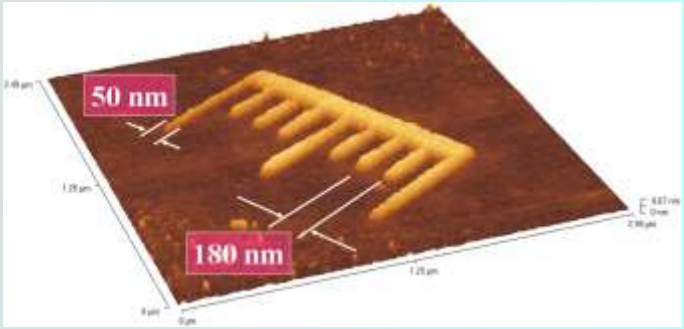


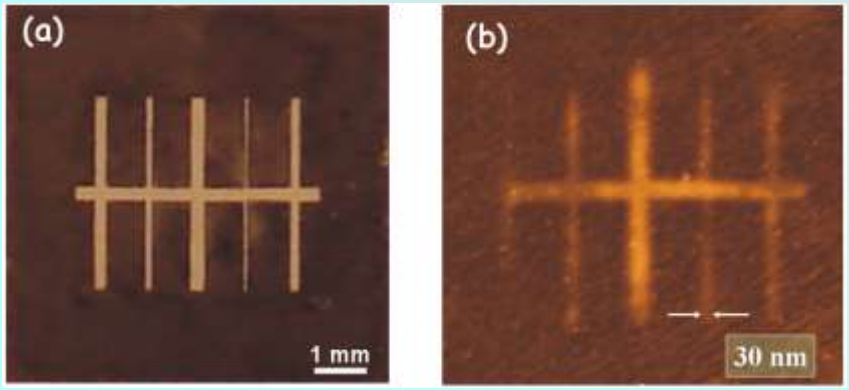
Примеры наноструктур



Зависимость от диаметра наноотверстия

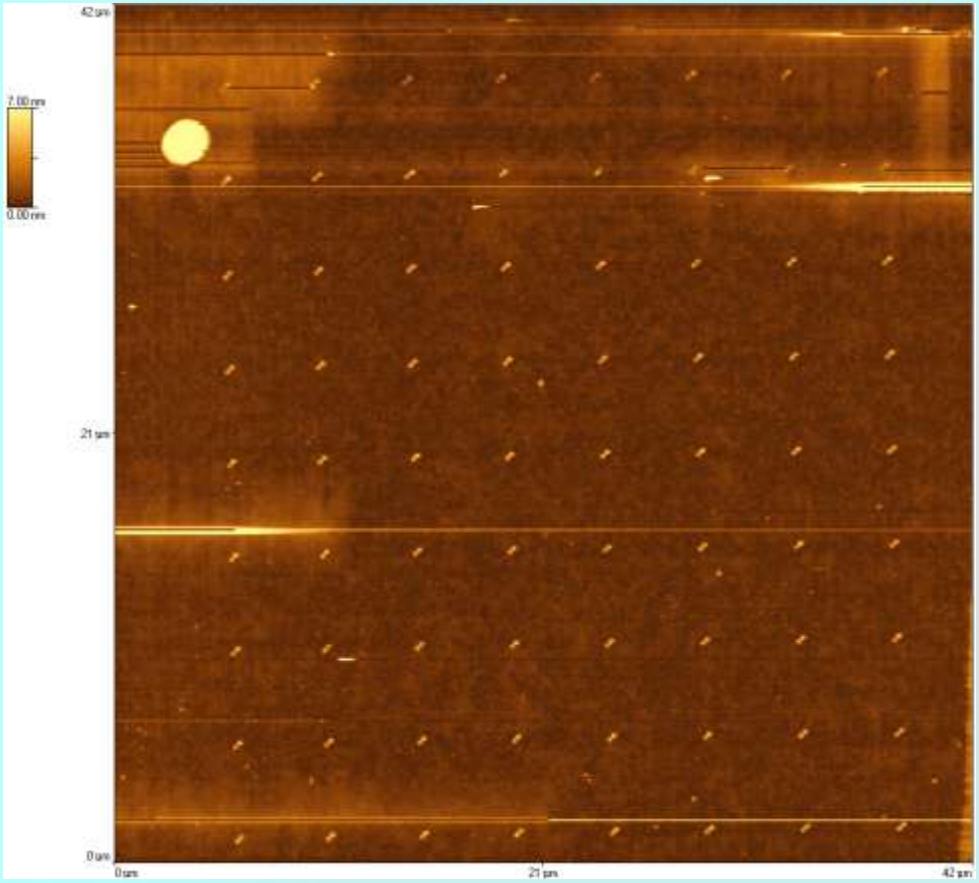
Нанолинейка для метрологии



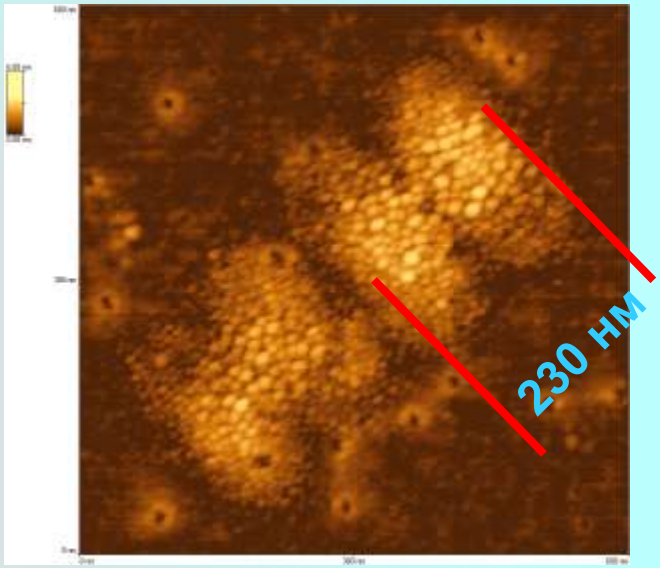


Предельное разрешение

Создание Оптических Антенн

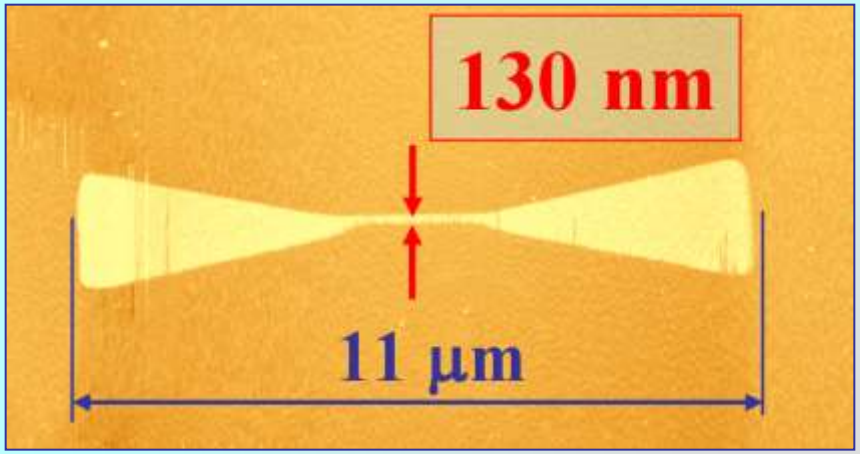


42 мкм

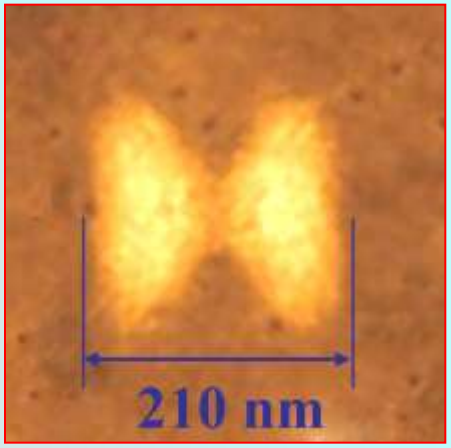


Необходимо учитывать динамику атомов на поверхности

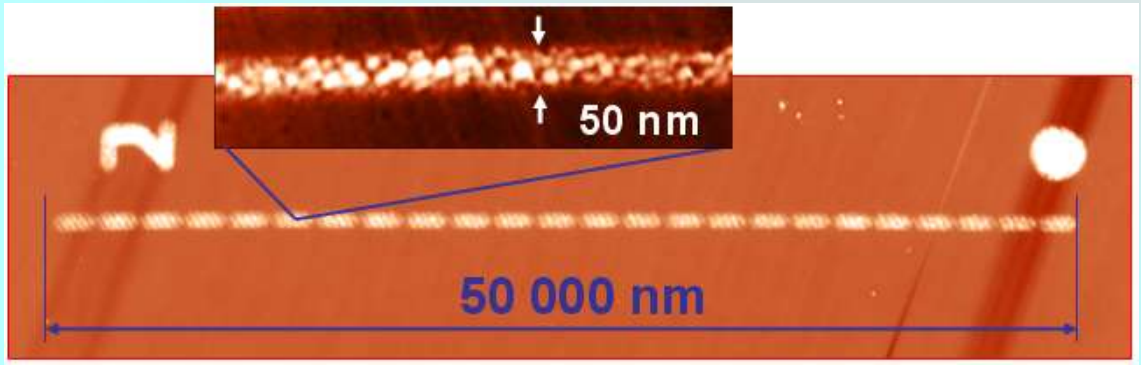
Элементы Наноплазмоники



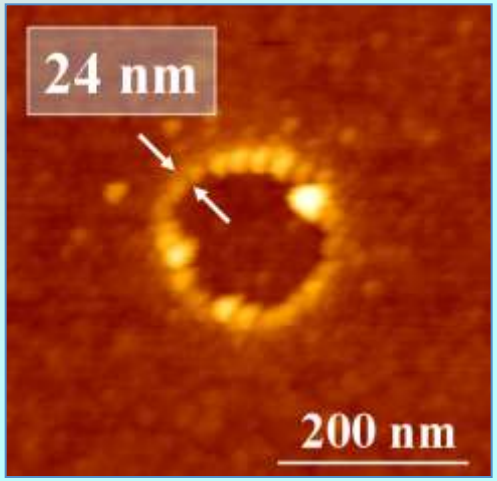
Сужающийся волновод



Оптическая антенна



Плоский волновод



Кольцевой резонатор

Заключение

1. Предложен, исследован и реализован новый подход атомной нанолитографии

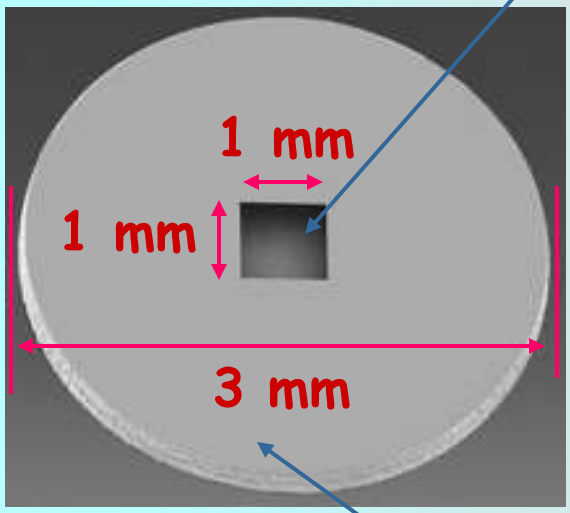
2. Создана компактная установка позволяющая создавать наноструктуры произвольной заданной формы по технологии 40 нм из широкого спектра материалов

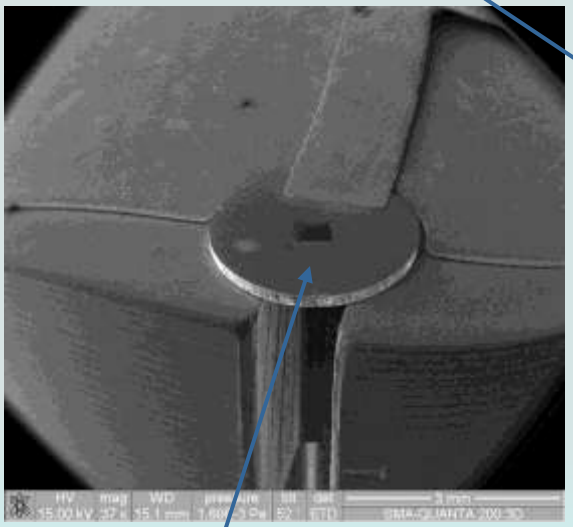
3. Метод доступен для использования в лабораториях с небольшим бюджетом финансирования

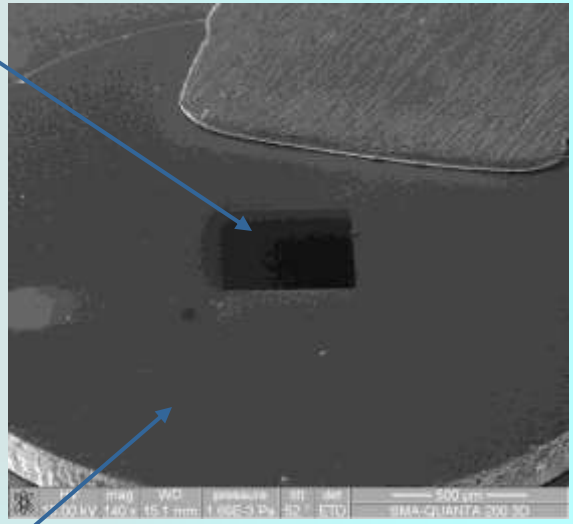
4. Использование оптических антенн позволит повысить точность измерений с использованием гигантского комбинационного рассеяния света

Мембраны из нитрида кремния

Мембрана толщиной 50 nm





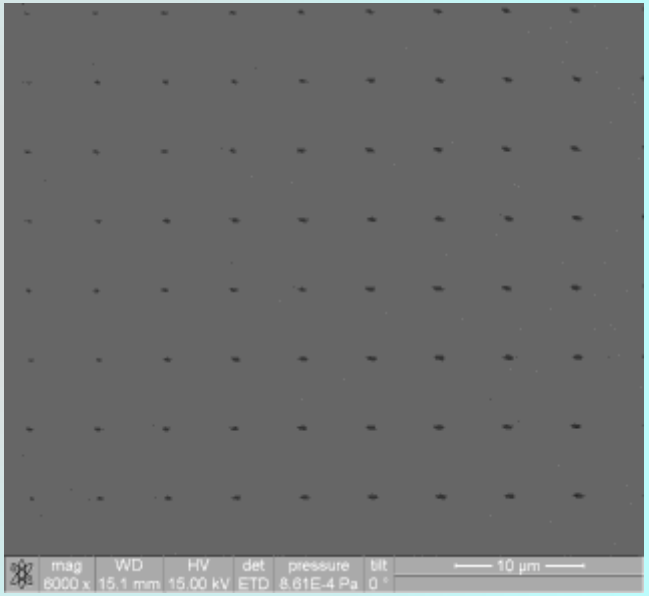


Каркас мембраны (толщина 250 мкм)

Изготовление наноотверстий в мембранах Si_3N_4 сфокусированным ионным пучком

FEI Quanta 200 3D Dual Beam

Изображения наноотверстий в мембране Si_3N_4



Возможно изготовление отверстий диаметром ≥ 1 nm