



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.

Кузин², А.В. Заблоцкий², А.С. Батулин²

1 Учреждение Российской академии наук Институт спектроскопии РАН

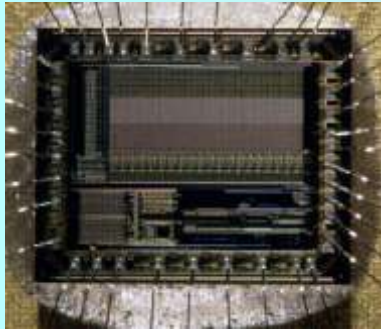
2 Московский физико-технический институт

Содержание

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

Области Применения Наноструктур

Микро / нано электроника

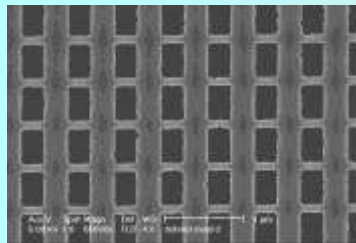


Транзисторы
Микрочипы
Датчики
Память
Дисплеи

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

Сенсоры
Адаптивная оптика
Контроллеры потоков

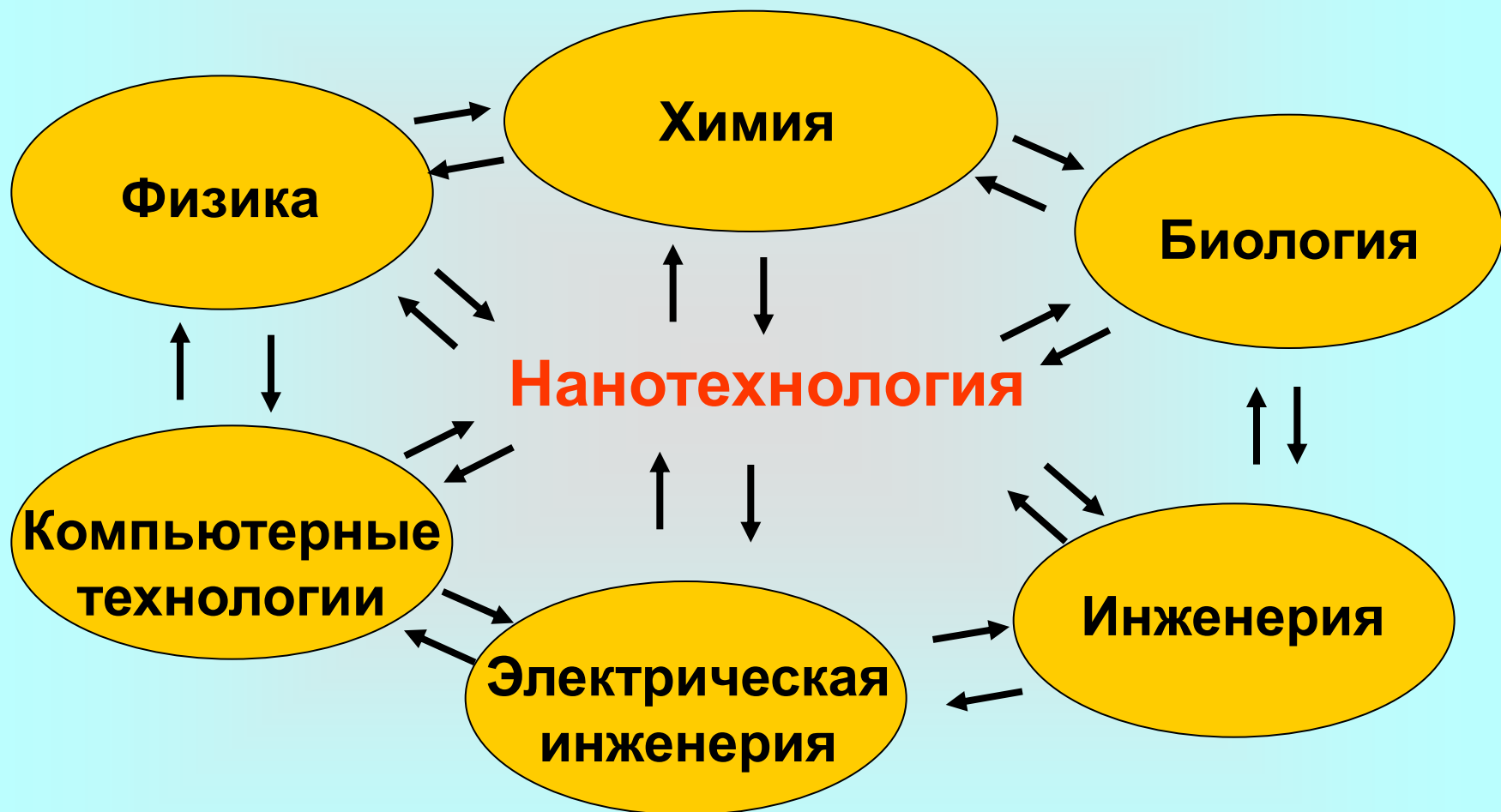
Метаматериалы



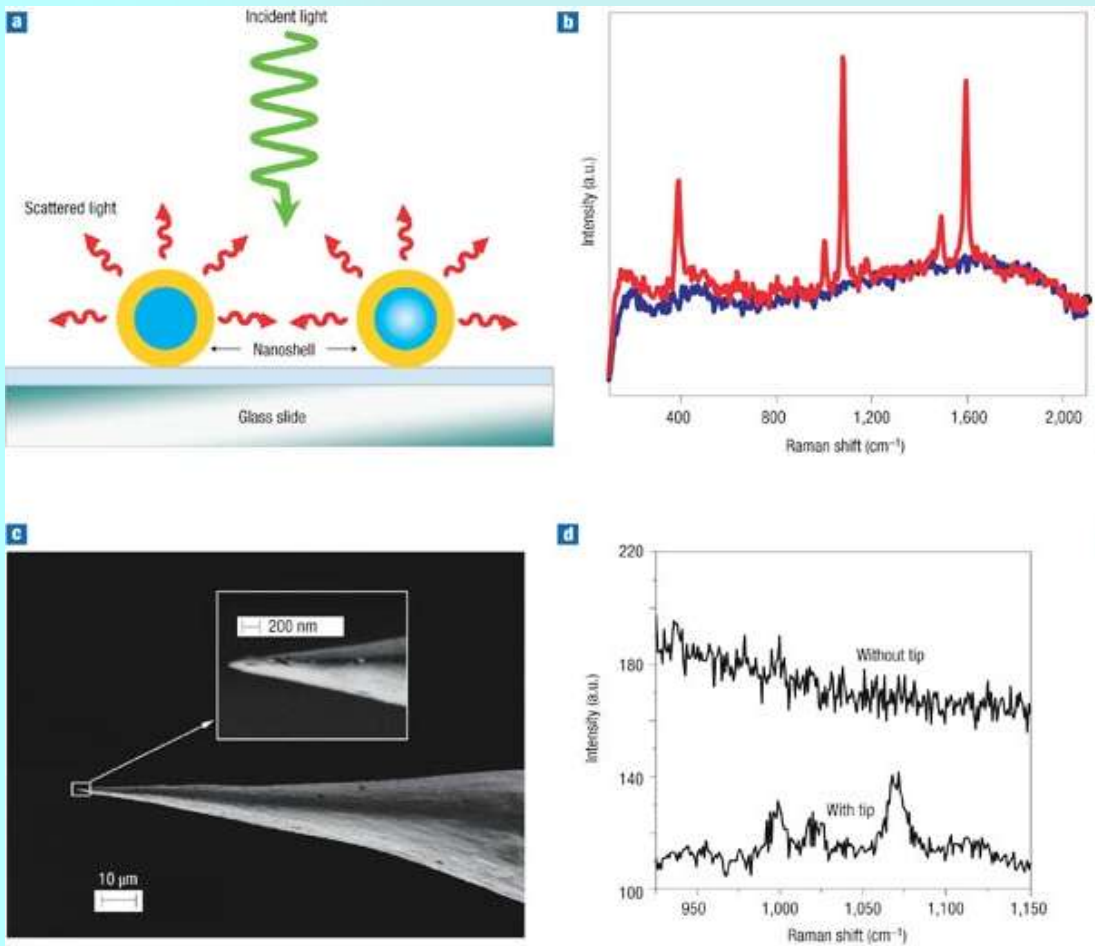
Резонаторы
Линзы
Антенны
Поглотители
Согласователи



Структура нанотехнологий



Гигантское комбинационное рассеяние света



Увеличение рассеяния

$10^{14}-10^{15}$

Гигантское комбинационное рассеяние света

Исследование

```
graph TD; A[Исследование] --> B[Фундаментальные причины]; A --> C[Практическое использование];
```

**Фундаментальные
причины**

*Причины усиления
комбинационного рассеяния?*

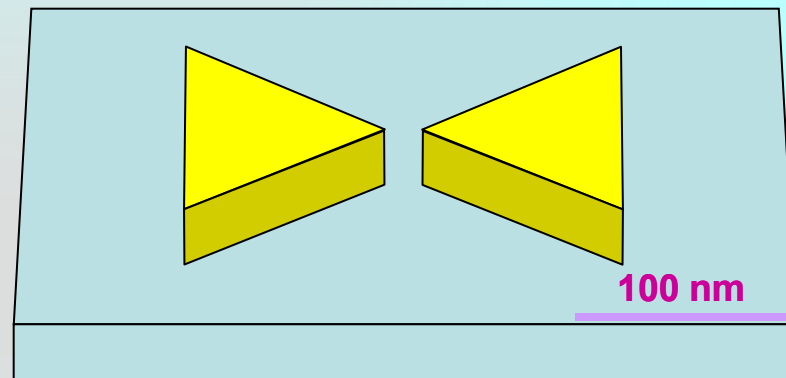
**Практическое
использование**

*Создание высокочувствительных
сенсоров*

Оптические наноантенны.



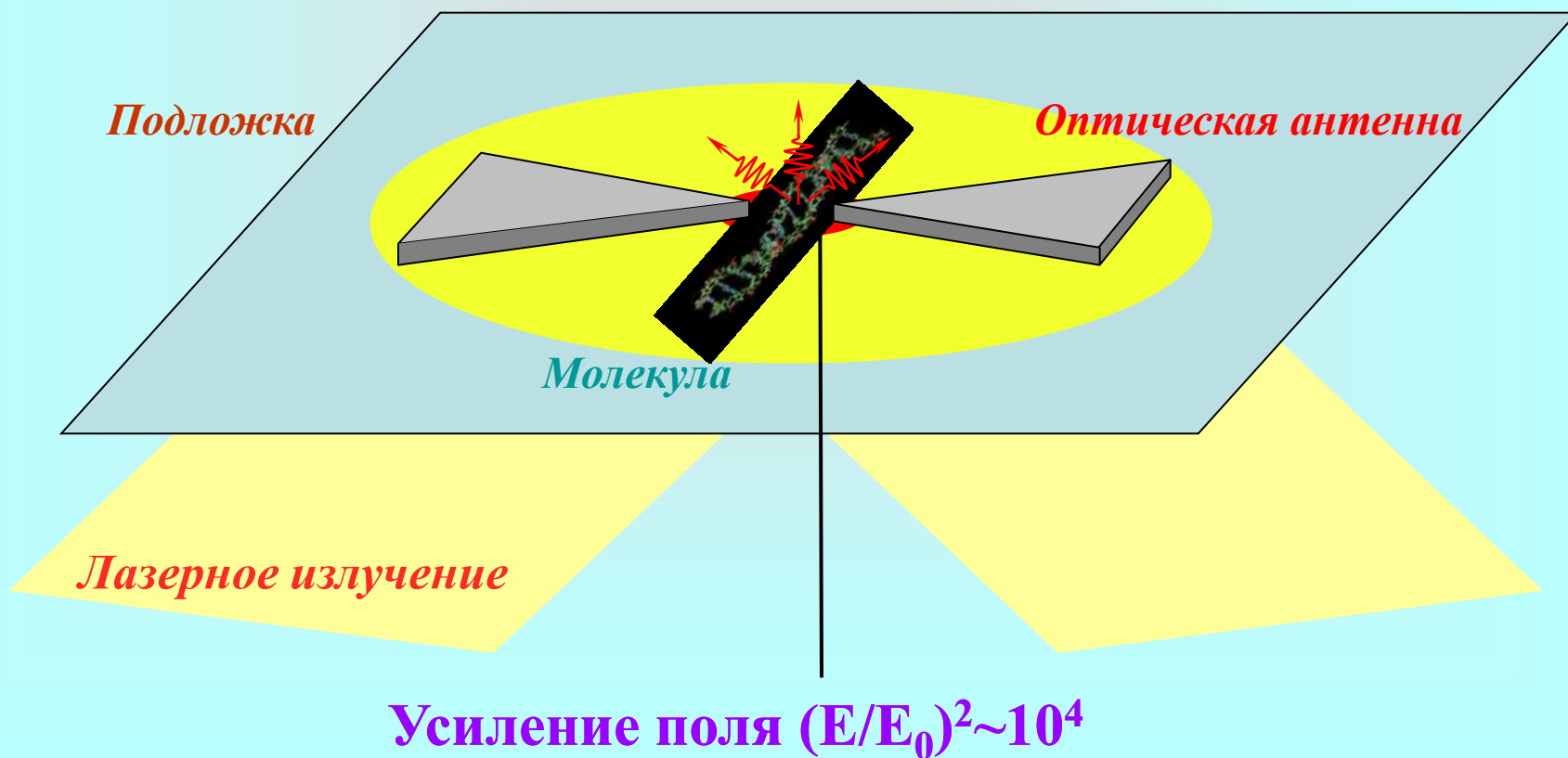
Прием радиоизлучения



Прием оптического излучения

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

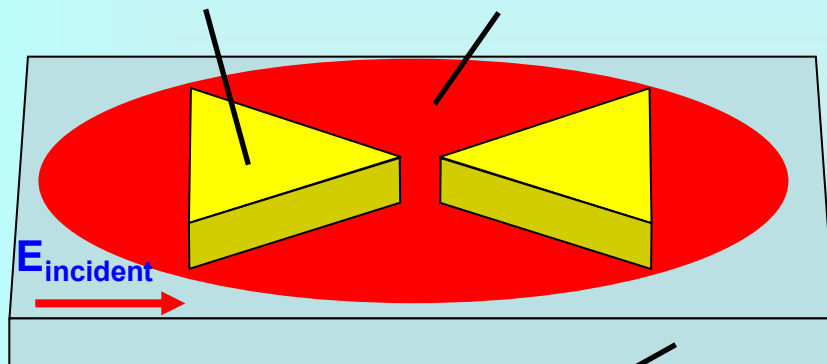
Оптические наноантенны.



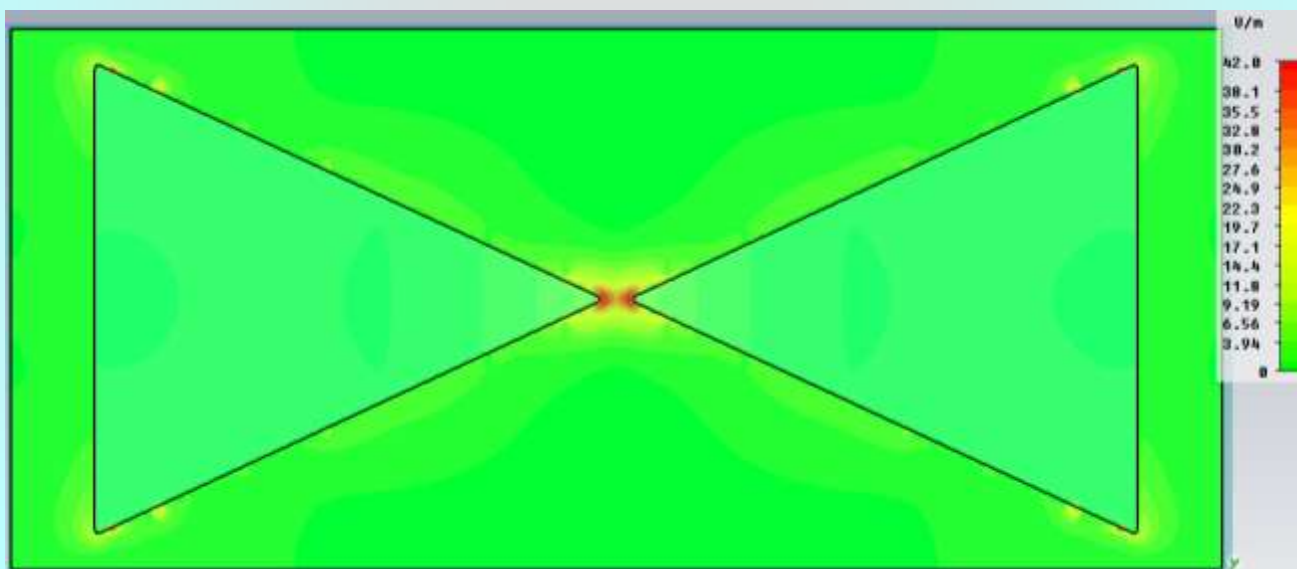
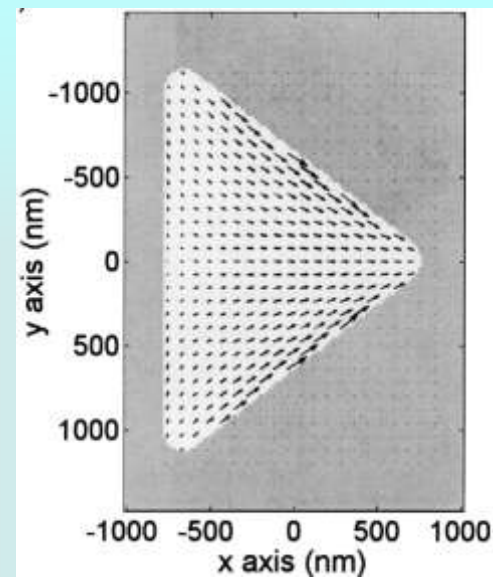
Оптические наноантенны.

Optical Antenna

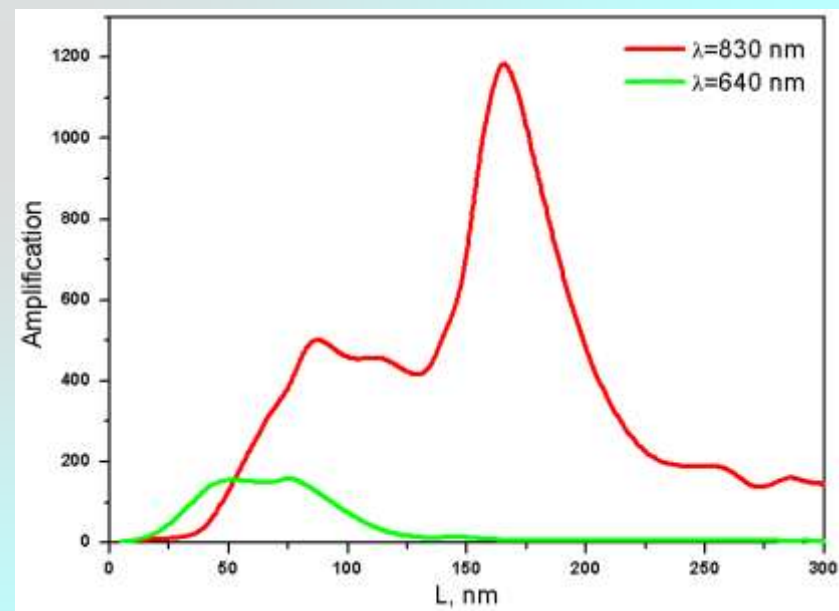
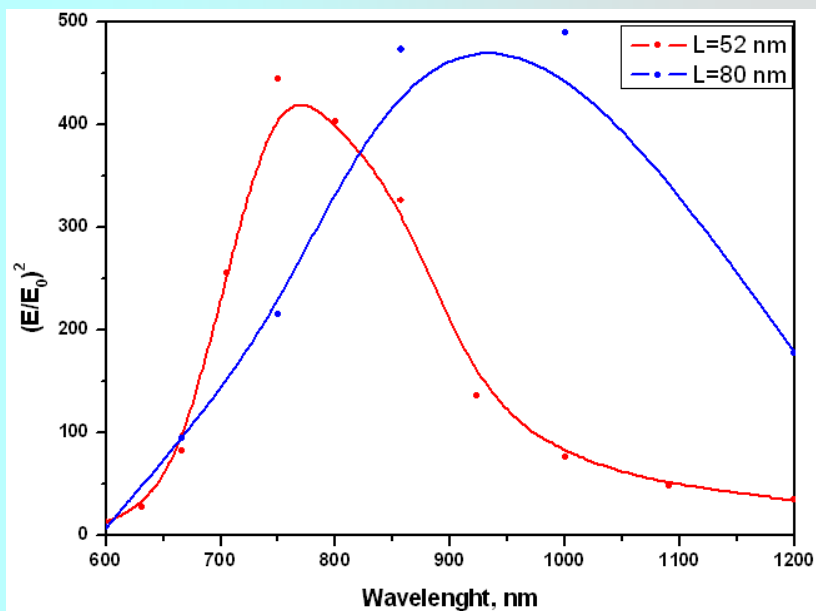
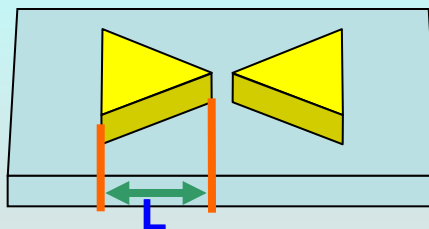
Laser Field



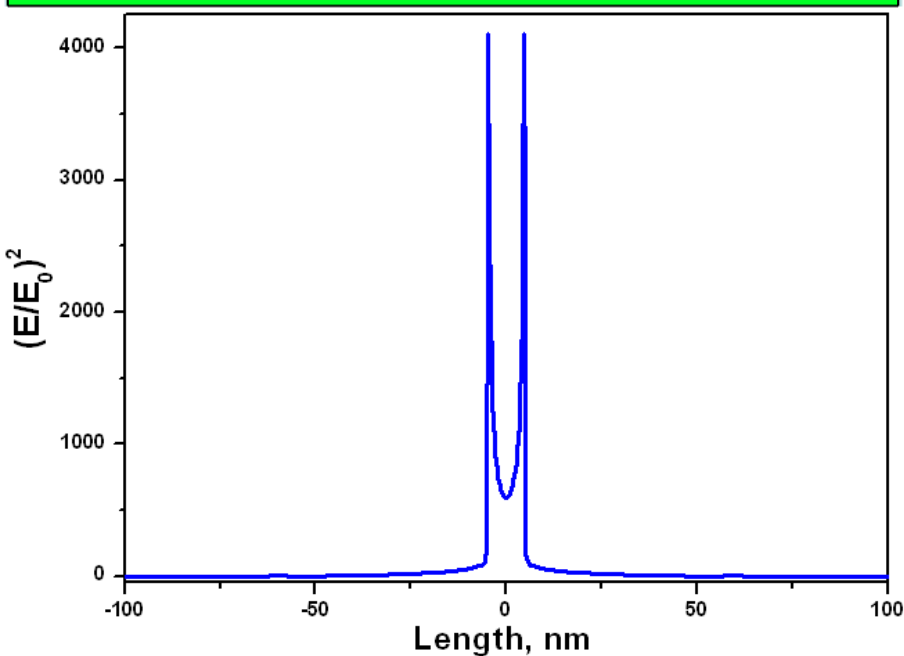
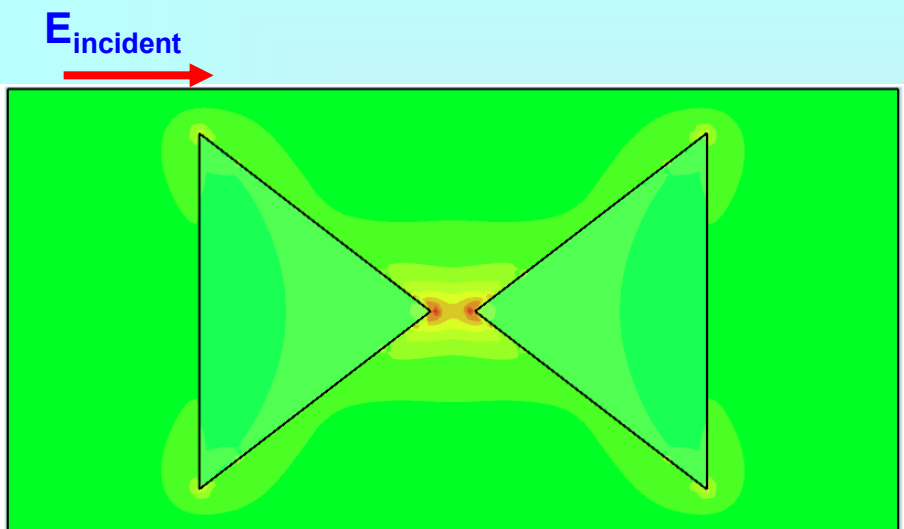
Substrate



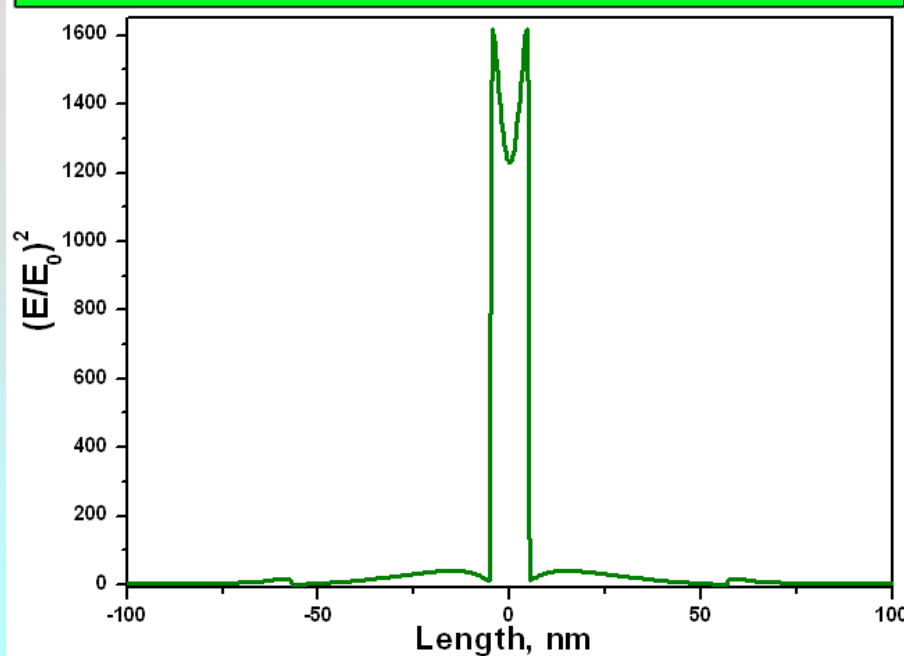
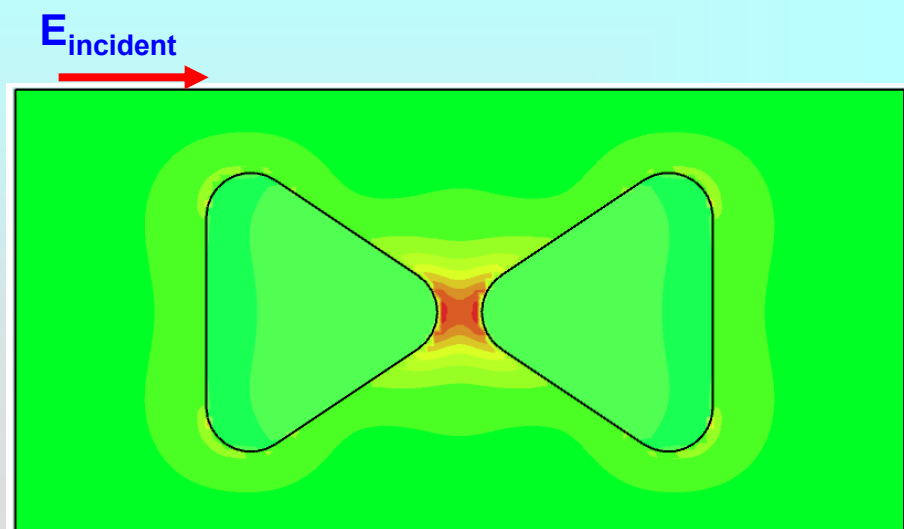
Оптические наноантенны.



Оптические наноантенны.

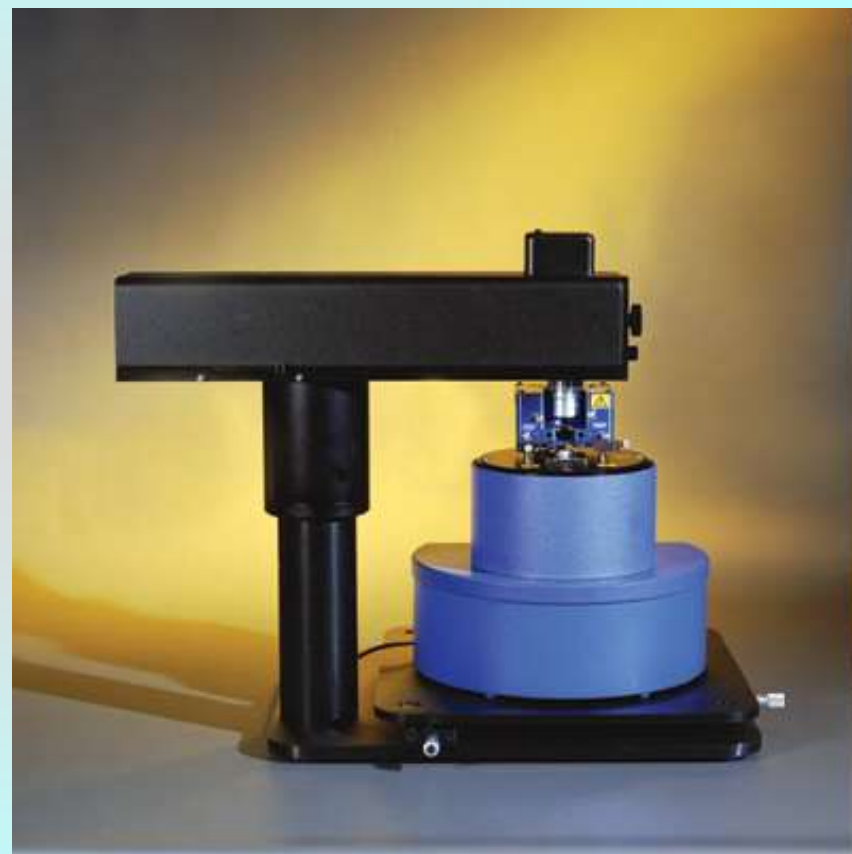
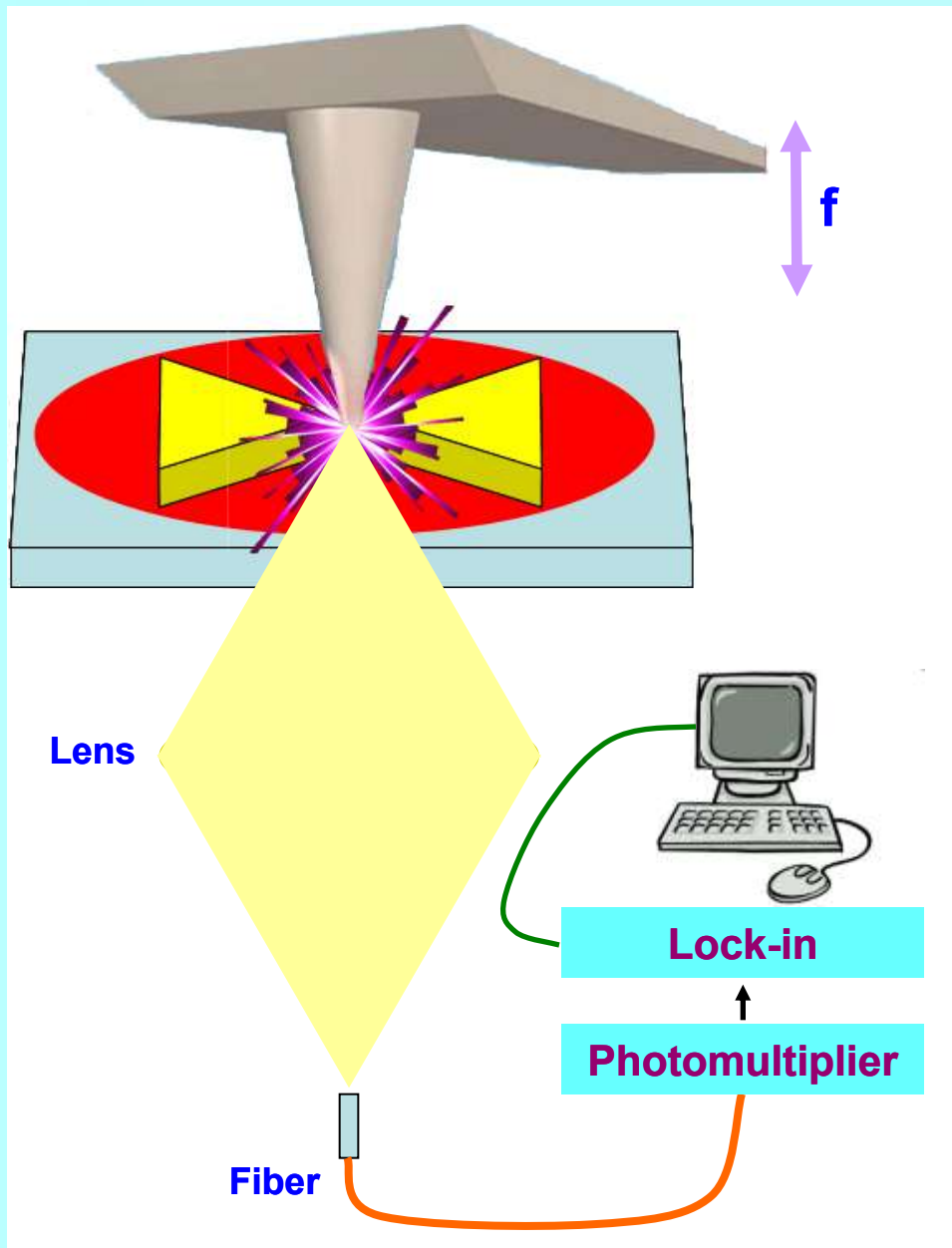


R=0 nm



R=10 nm

Регистрация Распределения Ближнего Поля



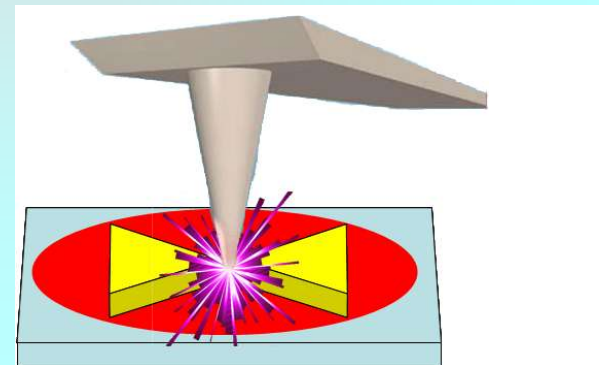
Veeco

Проблемы Регистрации Ближнего Поля

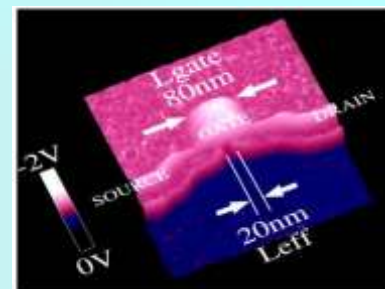
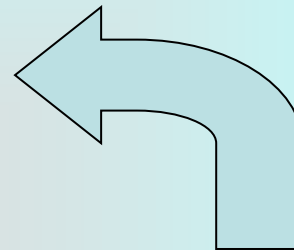
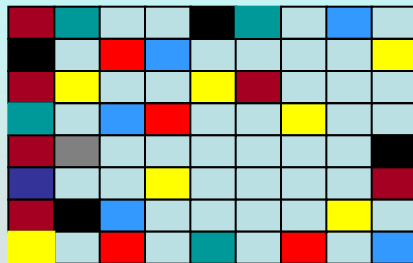
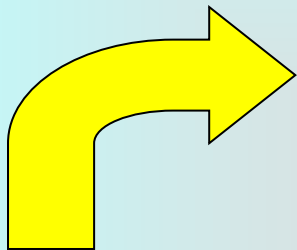
Малый уровень регистрируемого сигнала
(рассеяние типа кантилевера)

Высокий уровень шумов
(рассеяние лазерного излучения неровностями поверхности)

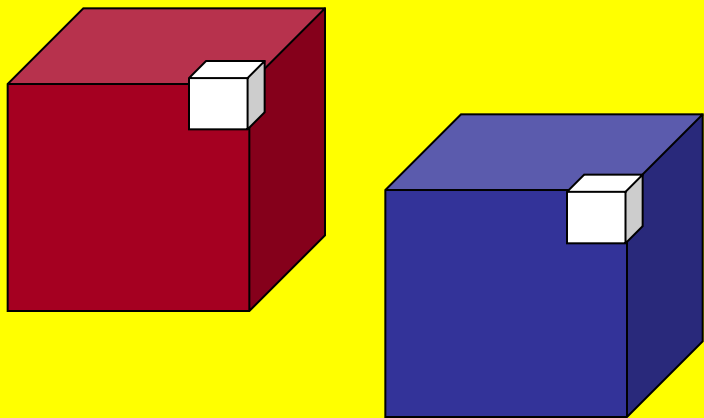
Интерференция излучения
(отраженное от кантилевера силовое излучение
когерентно с рассеянным типом)



Принципы Создания Наноструктур

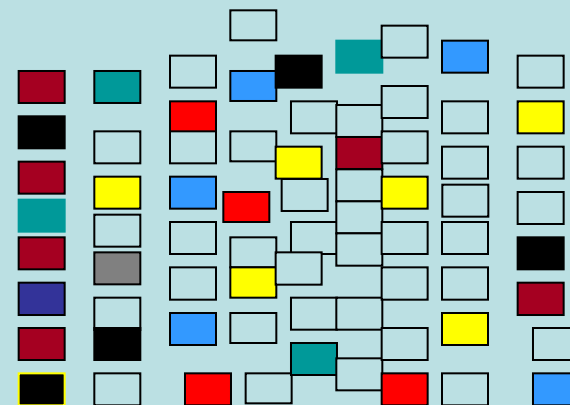


Top down lithography



Bulk materials

Bottom up lithography



Atom, Molecules, Clusters,...

Ограничения Методов Литографии

Оптическая литография

Ионная литография

Самоорганизация

Дифракция света

Кулоновское взаимодействие

Ограниченный набор форм

Использование дорогостоящего оборудования

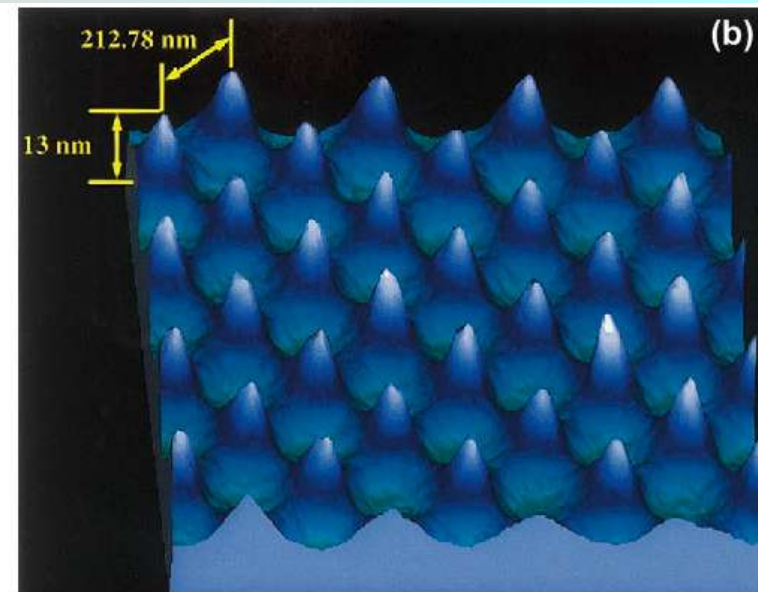
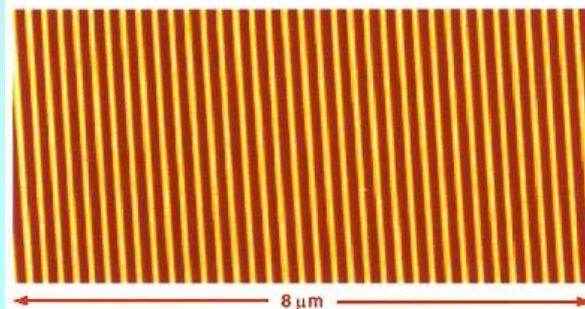
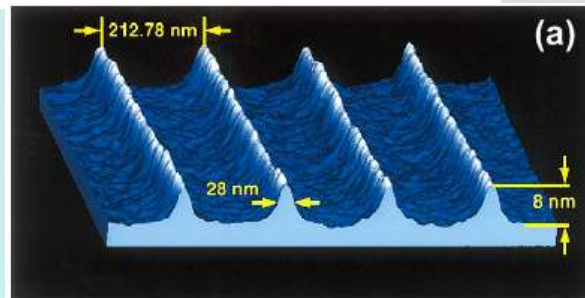
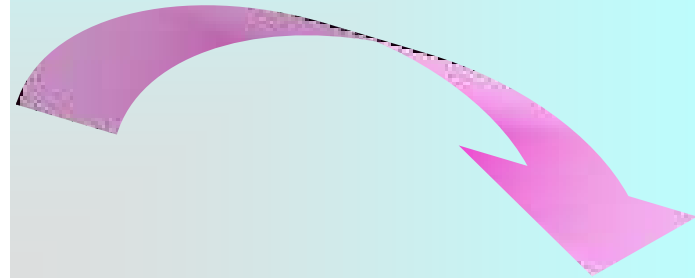
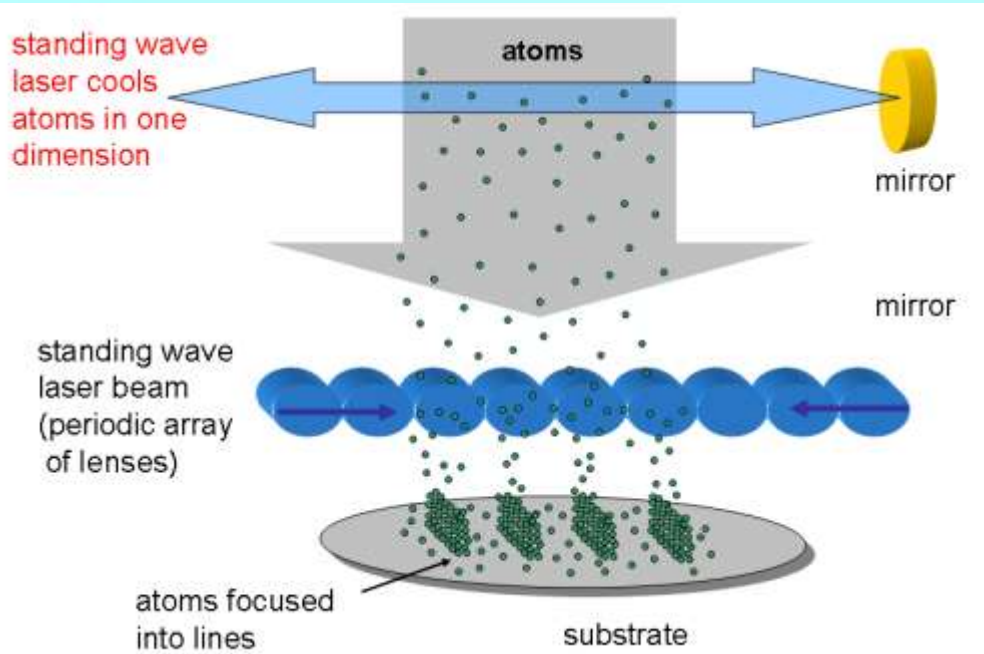
Отсутствие законченной модели структурообразования

Сложный технологический процесс

Ограничения на материал наноструктур

Ограничения на подложку

Литографии Методами Атомной Оптики



J. J. McClelland

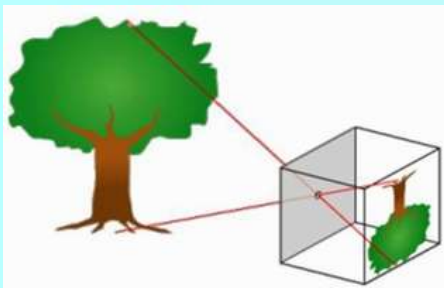
Преимущества Использования Нейтральных Атомов

Малая длина волны де Бройля

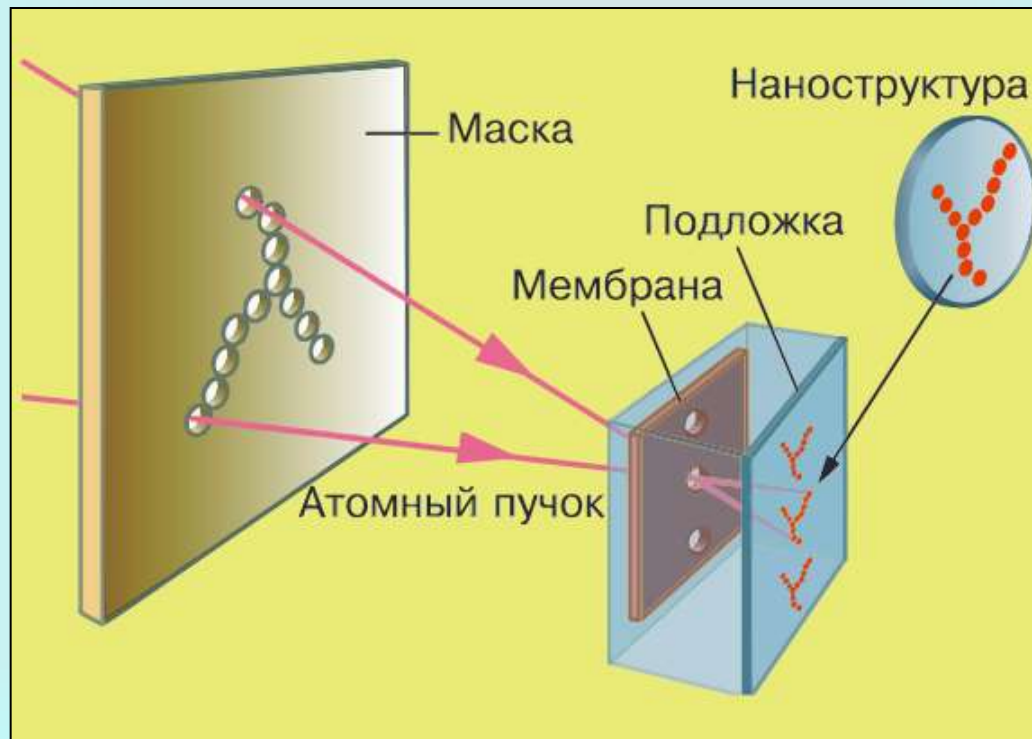
Отсутствие электрического заряда

Малая кинетическая энергия атомов

Атомная Камера-Обскура



Построение атомных «изображений» в геометрическом приближении **Атомной Оптики**

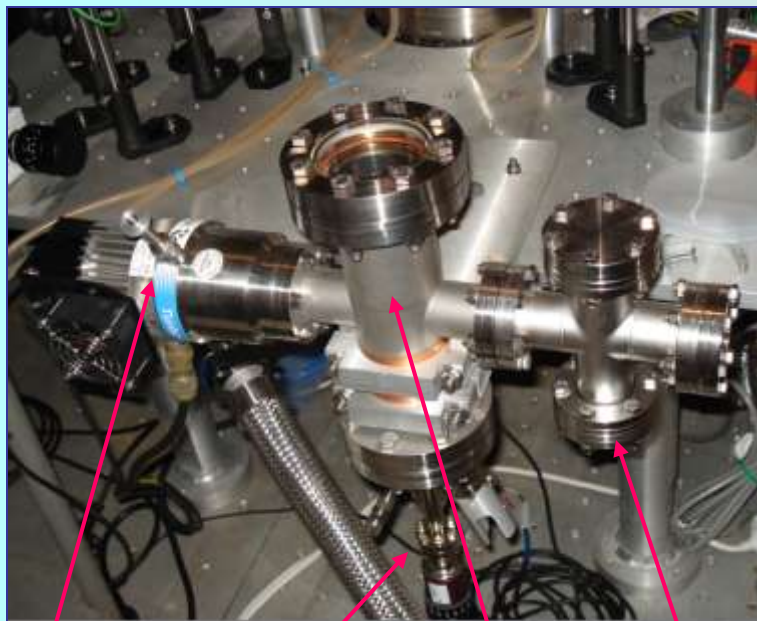


$$\lambda_{dB} \ll d_{\text{hole}}$$

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

Экспериментальная установка для нанолитографии

Фотография установки



ТМ
насос

Источник
атомов

Камера -
Обскура

Контроль
давления

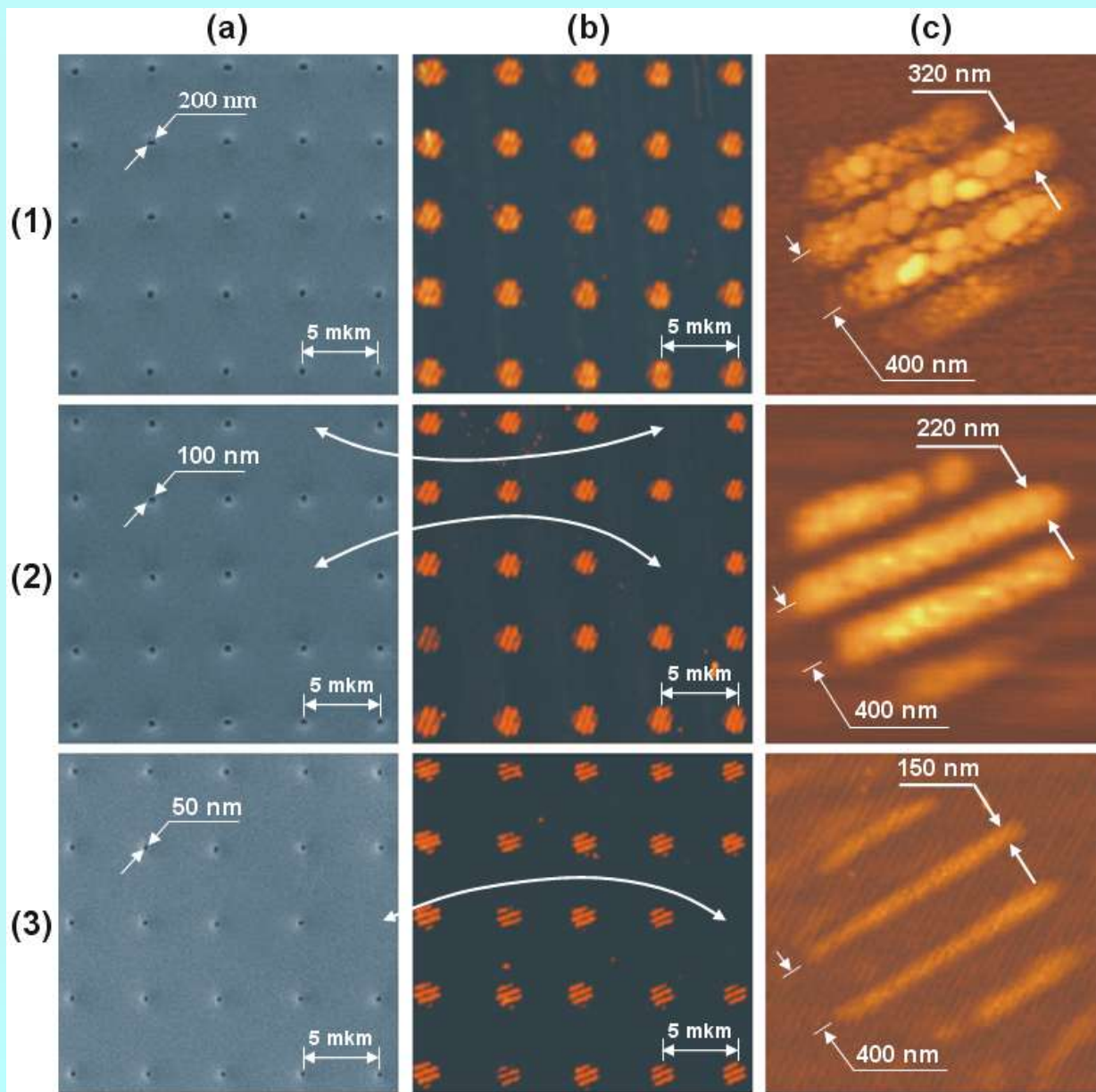
Допустимые материалы для
создания наноструктур:
Zn, Mg, Ca, In, Ag, Ga, Al, Cu, Au,
Ge, Fe, Cr и др.

Контроль высоты создаваемых
наноструктур

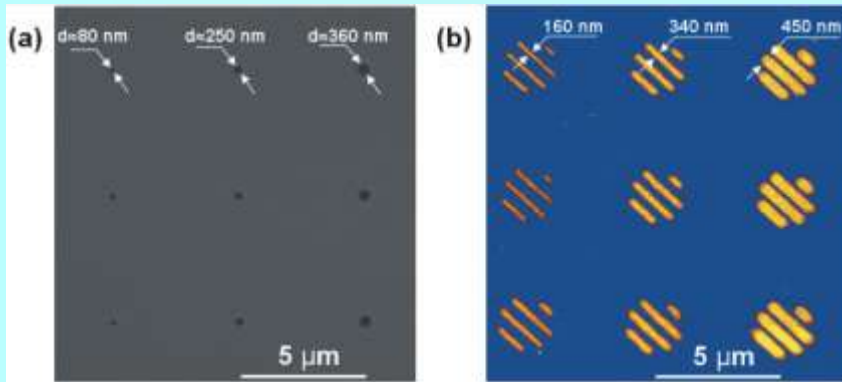
Давление остаточного газа в
камере $< 10^{-9}$ Торр

Время создания наноструктур
заданной формы на подложке $<$
15 мин.

Примеры наноструктур

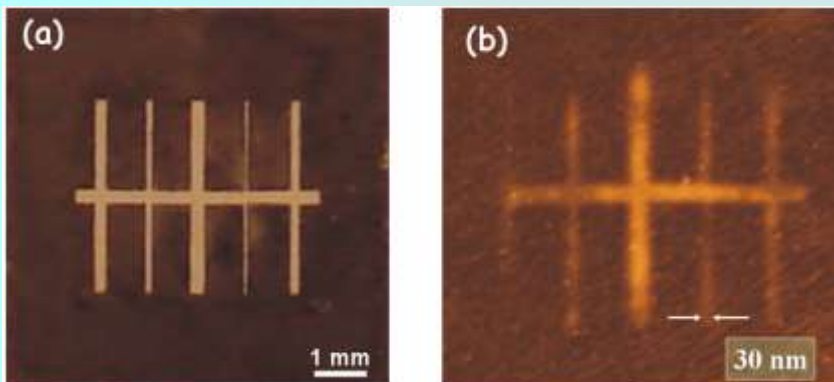
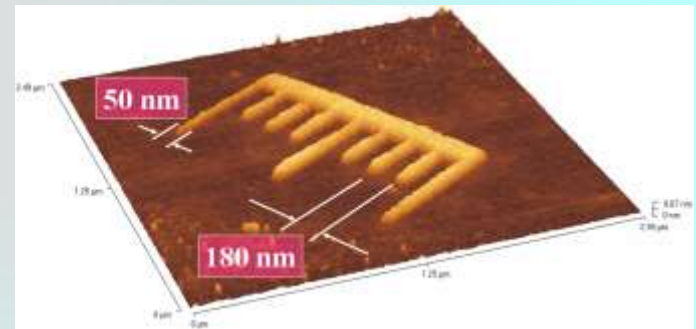


Примеры наноструктур



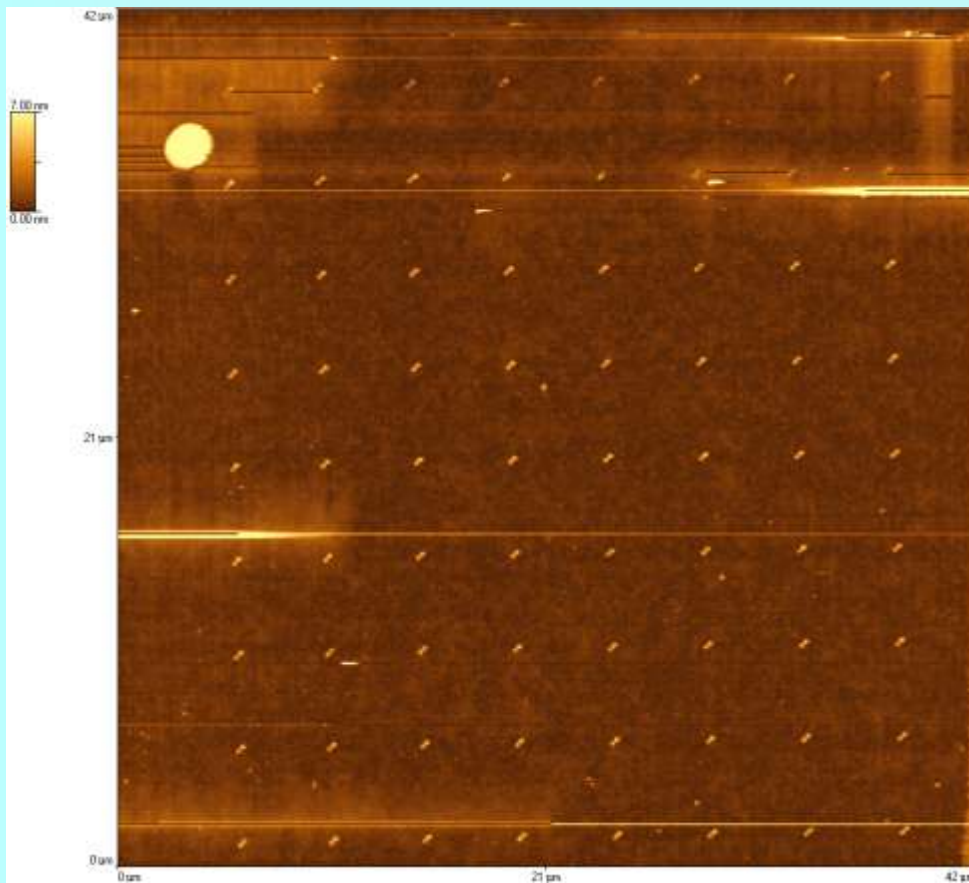
Зависимость от диаметра нанодоверстия

Нанополоска для метрологии

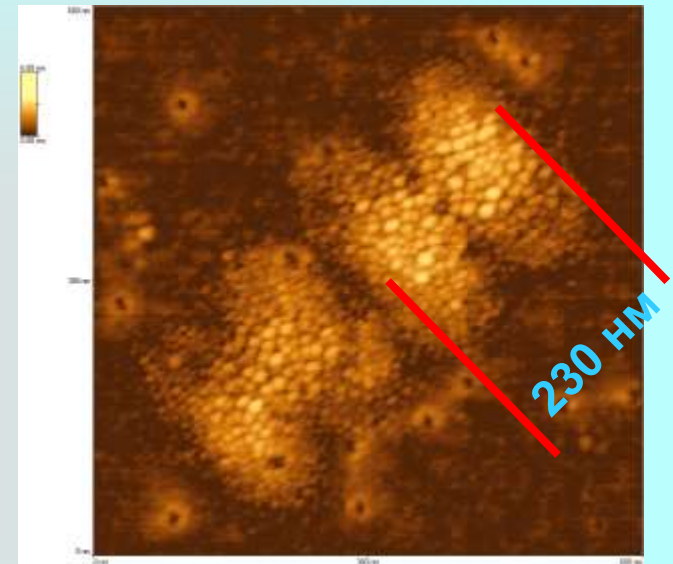


Предельное разрешение

Создание Оптических Антенн

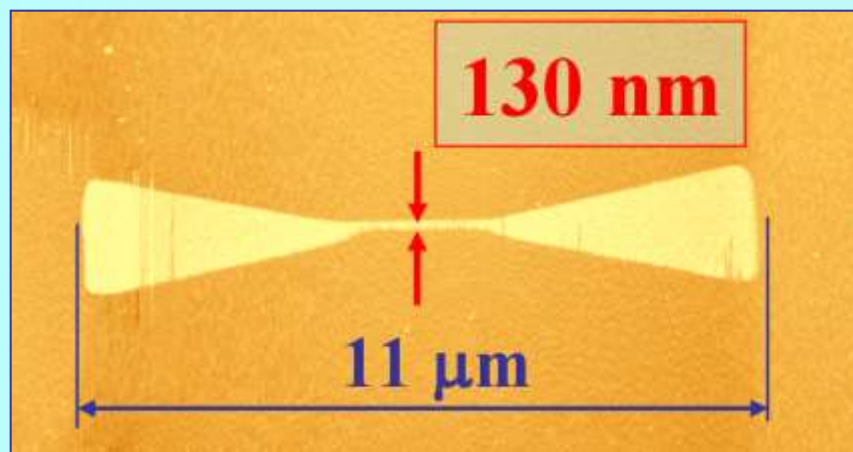


42 мкм

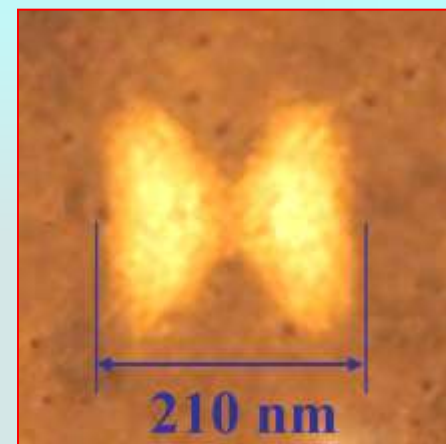


Необходимо учитывать динамику атомов на поверхности

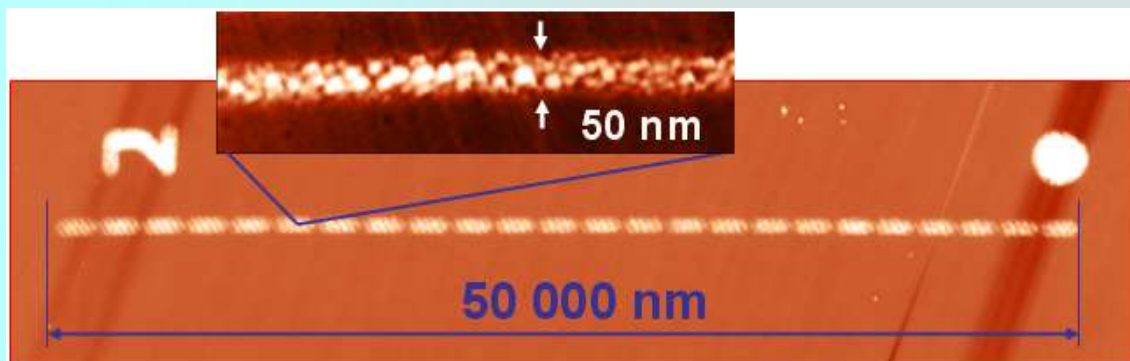
Элементы Наноплазмоники



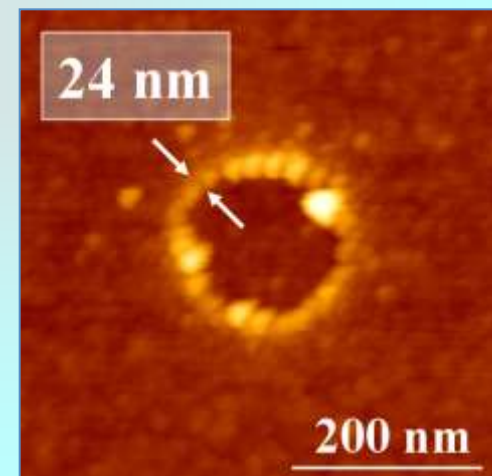
Сужающийся волновод



Оптическая антенна



Плоский волновод



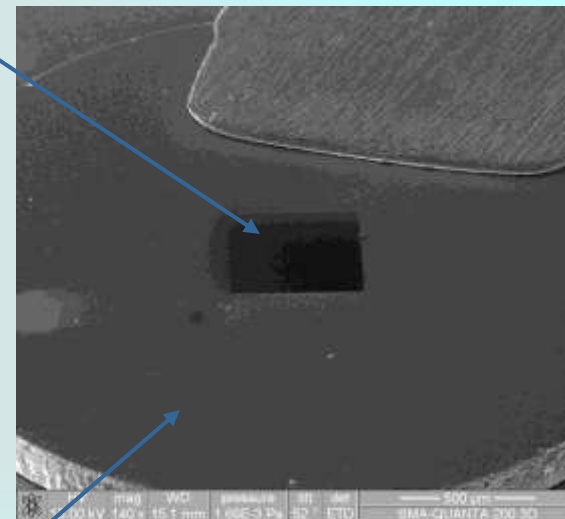
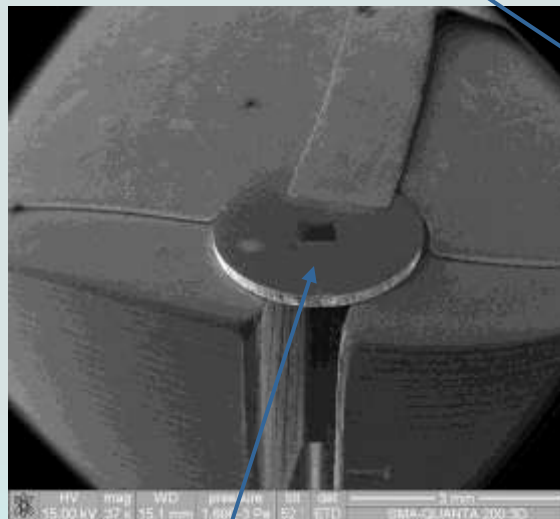
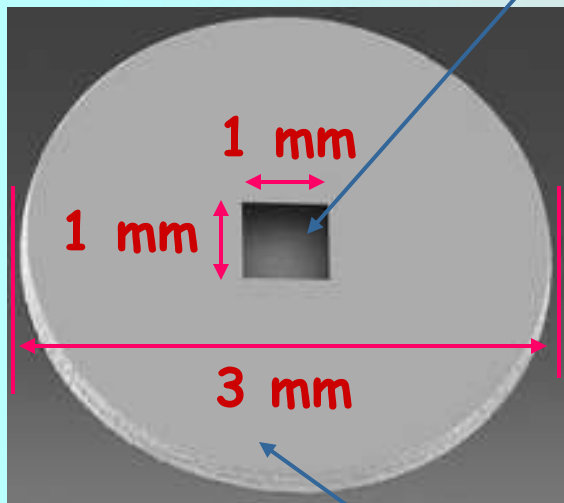
Кольцевой резонатор

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 нм



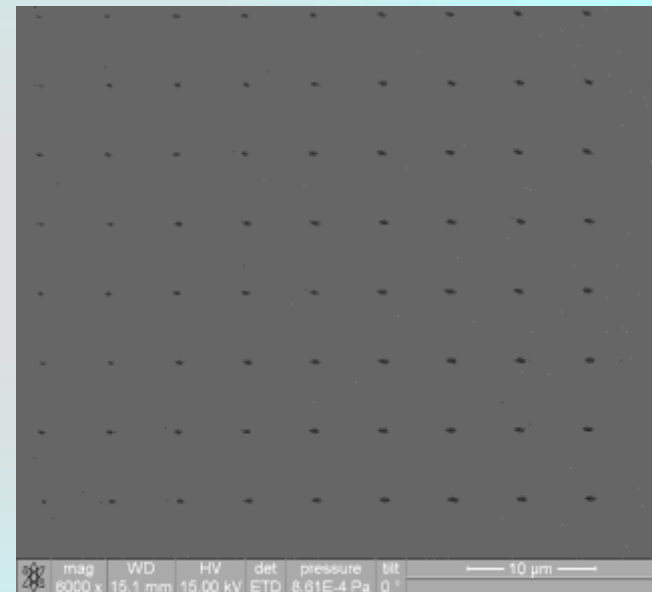
Каркас мембраны (толщина 250 мкм)

Изготовление нанотверстий в мембранах Si_3N_4 сфокусированным ионным пучком



FEI Quanta 200 3D Dual Beam

Изображения нанотверстий
в мембране Si_3N_4



Возможно изготовление
отверстий диаметром ≥ 1 nm