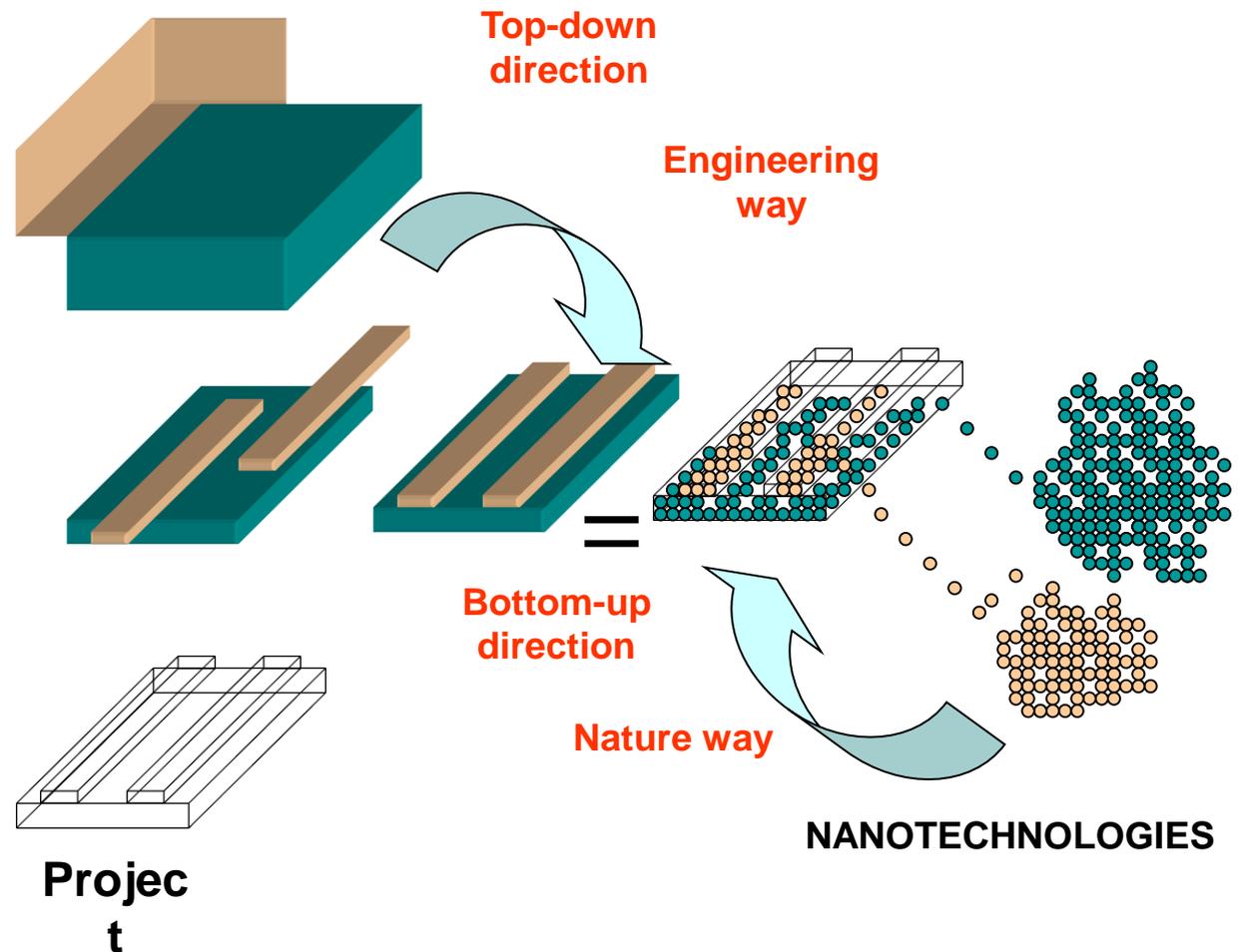
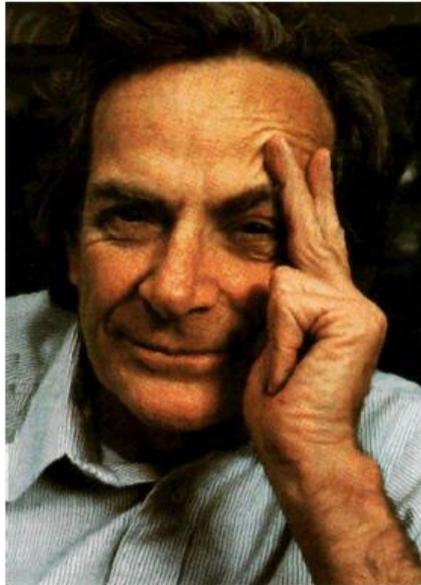


НАНОДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

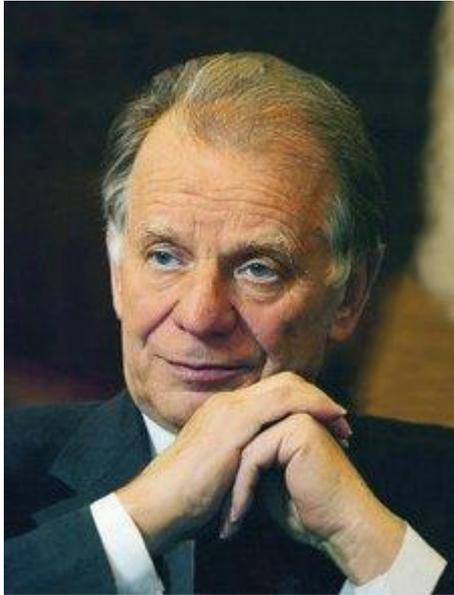
**Чижик С.А.
НАН Беларуси**

От технологий «сверху-вниз» к технологиям «снизу-вверх»

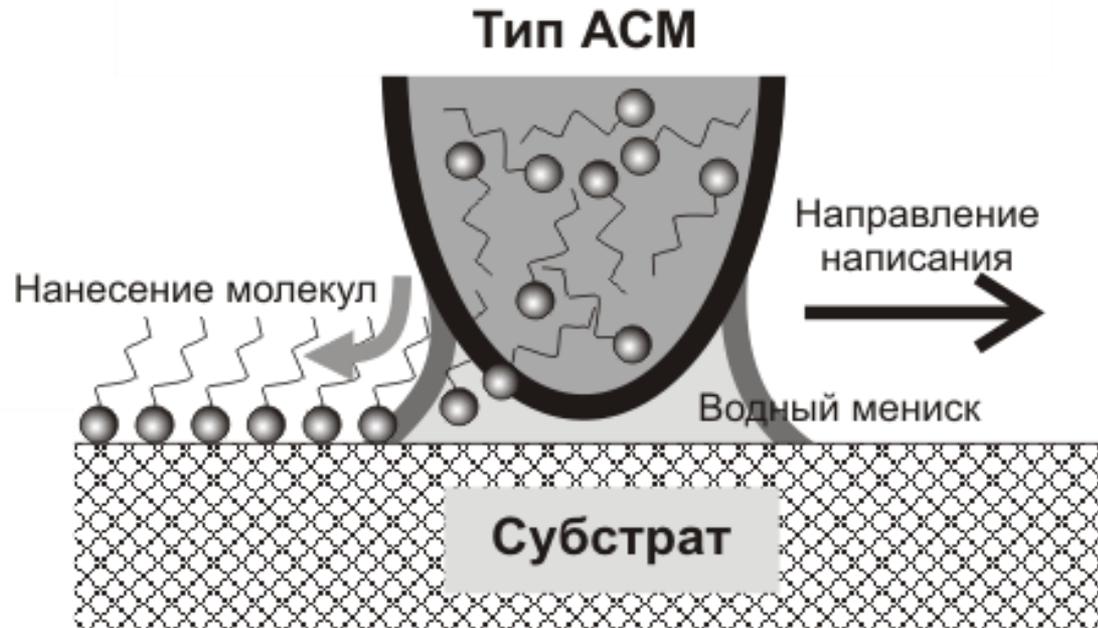
«Внизу много места...» Р. Фейнман, 1959



Передовые нанотехнологии и аддитивные технологии

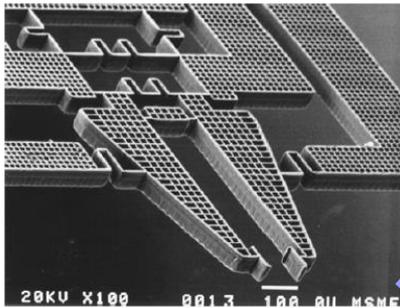


«...зондовая микроскопия, эпитаксиальный рост пленок на поверхности, процессы самосборки гетероструктур материала.» Ж.И. Алферов, 1998



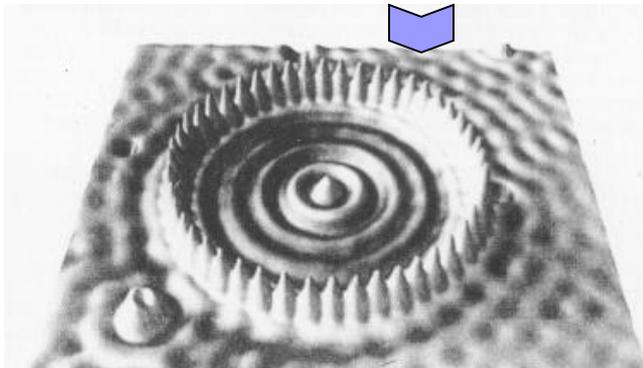
«Перьевая» (dip-pen) литография

Масштабные уровни сборки и самосборки изделий



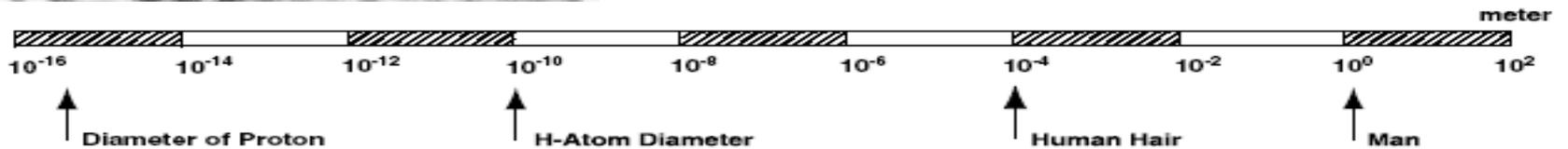
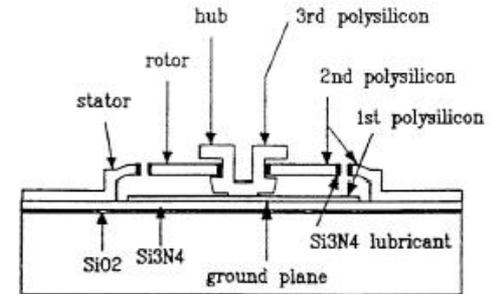
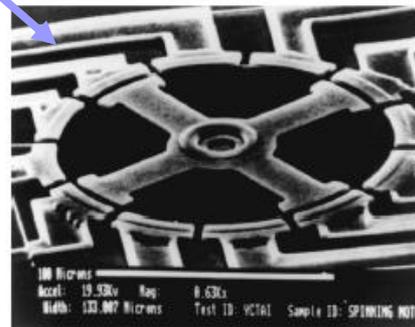
Microassembling Tools

Nanoassembling



Macroassemblin g

Microassemblin

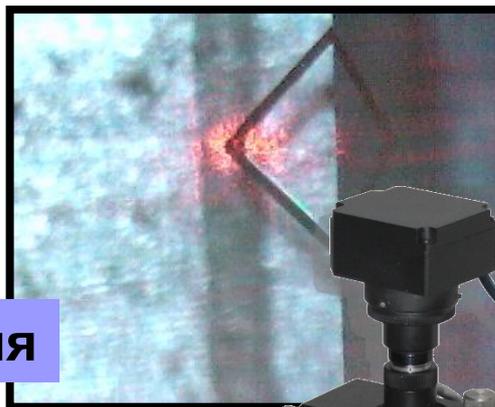


Nanodevices

MEMS

Typical Man-Made Devices

Оборудование и методы атомно-силовой микроскопии



Нанотомография

«Tuning fork»
микроскопия

Осциллирующая
трибометрия

Моделирование
поверхностей и
контакта

Оборудования для
контроля в субмикронной
электронике

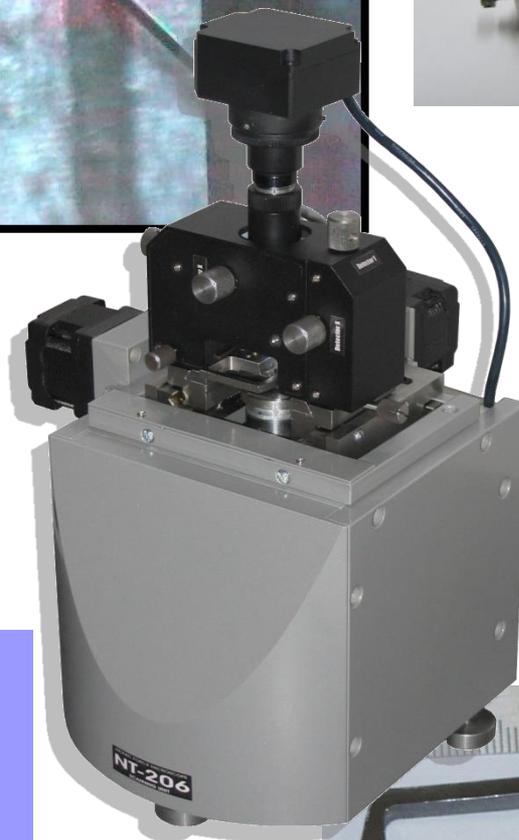


Наносверление

Динамическая
силовая и
латерально-силовая
спектроскопия

Сшивка и совместный
анализ многослойных
изображений

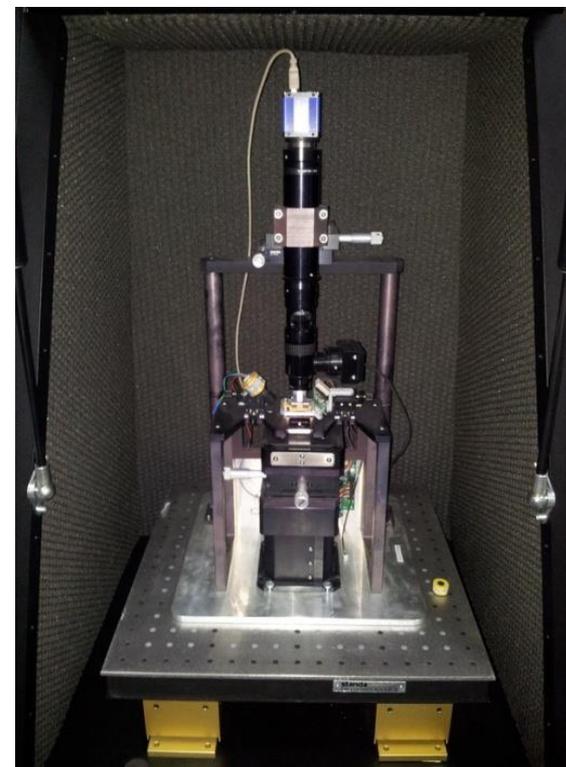
Оборудование для
наноконтроля
живых биоклеток



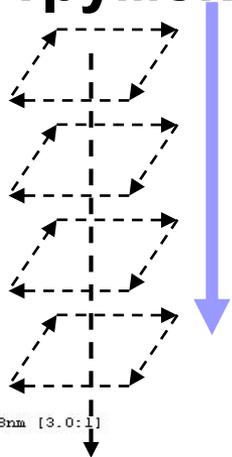
SSM – 310 Многофункциональный атомно-силовой микроскоп



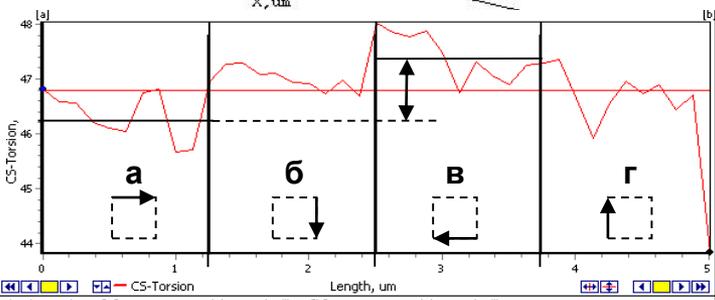
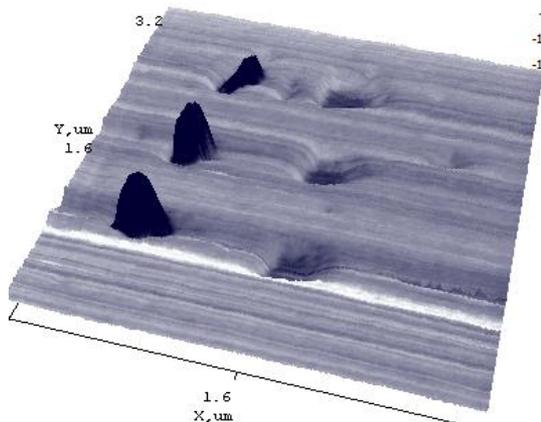
СЗМ метрологический



Инструменты «НАНОДРЕЛЬ» и «НАНОВЕРЕТЕНО»



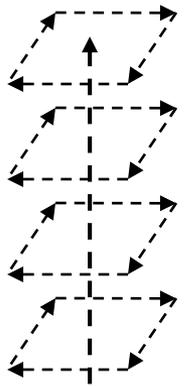
X: 3.2um Y: 3.2um Z: 4.8nm [3.0:1]
Ra: 0.1nm Rq: 0.3nm



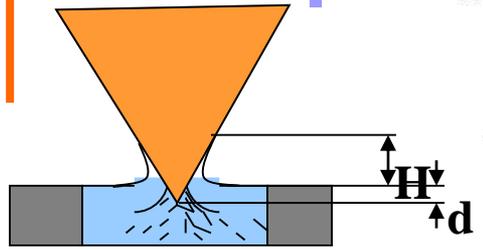
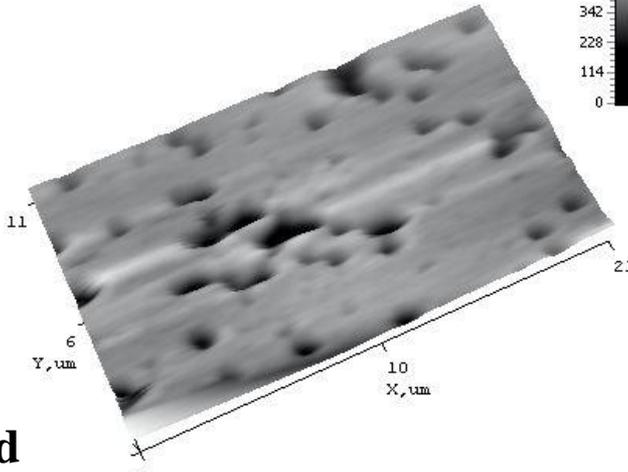
Absolute values: [a]-> x=0.0um; z(1)=46.8(null); [б]-> x=5.0um; z(1)=43.8(null);
Difference between markers: dx=5.0um; dz(1)=3.0(null);
Difference between first two lines: x[a]=0.0um, dz[a]=0.0(null); x[б]=5.0um, dz[б]=0.0(null)

Программное обеспечение процедур нановращения

зонда

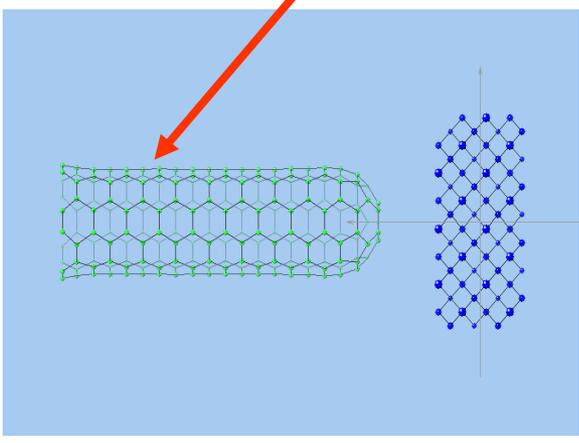
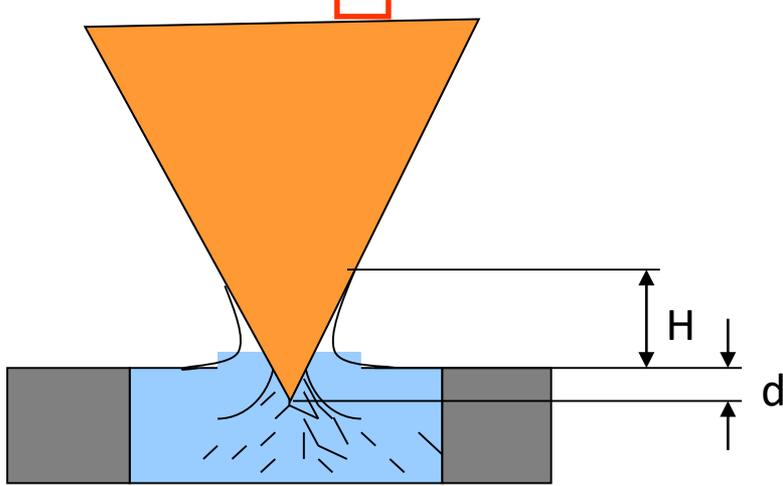
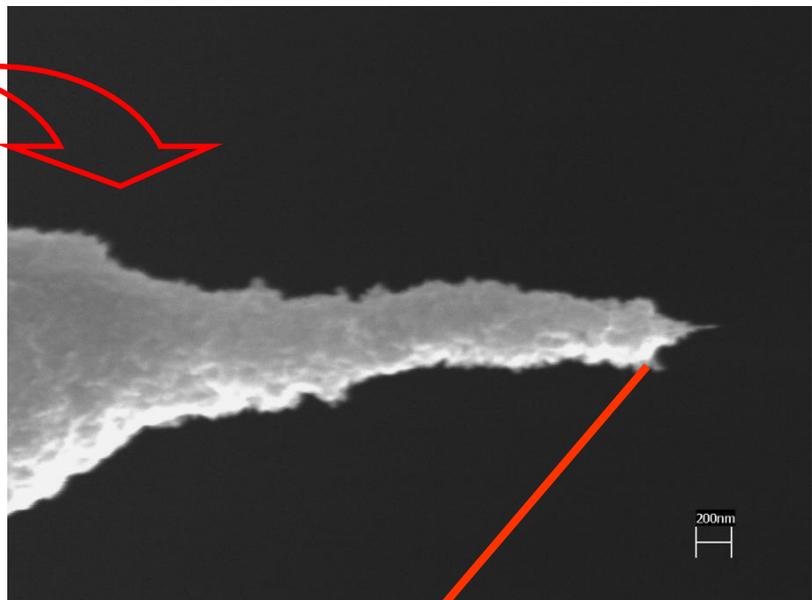
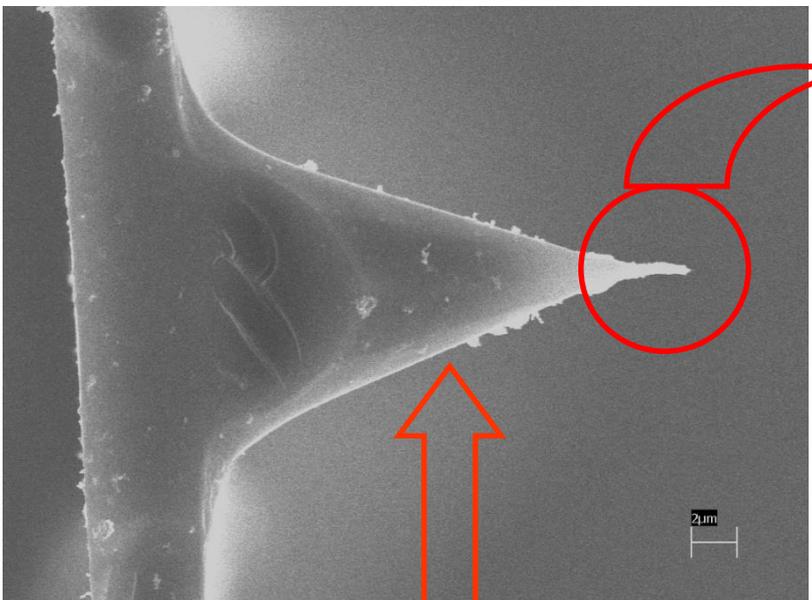


X: 20.5um Y: 11.5um Z: 628.6nm [3.3:1]
Ra: 34.4nm Rq: 53.3nm

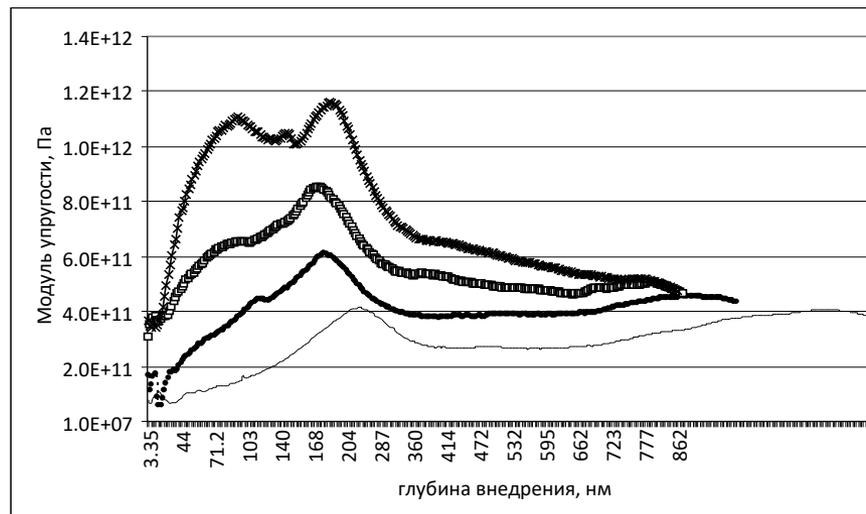
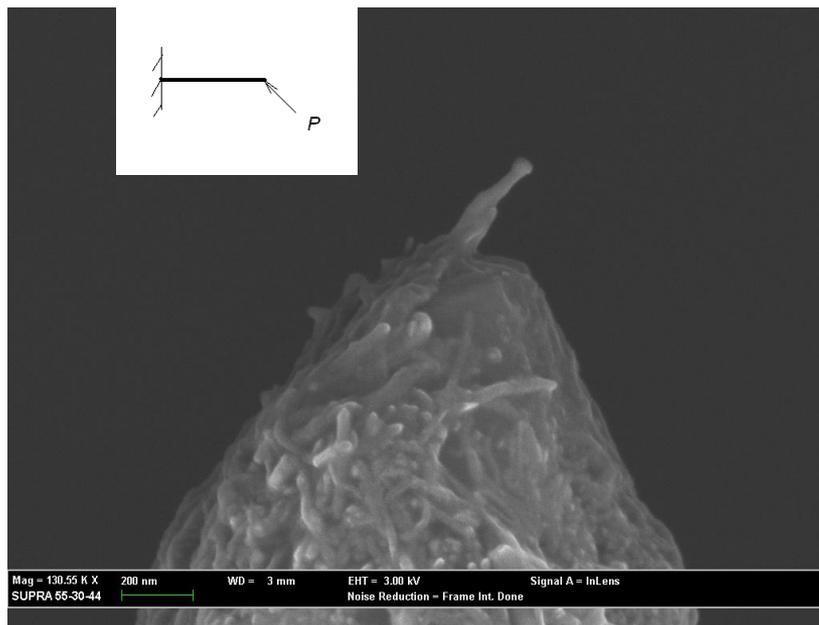




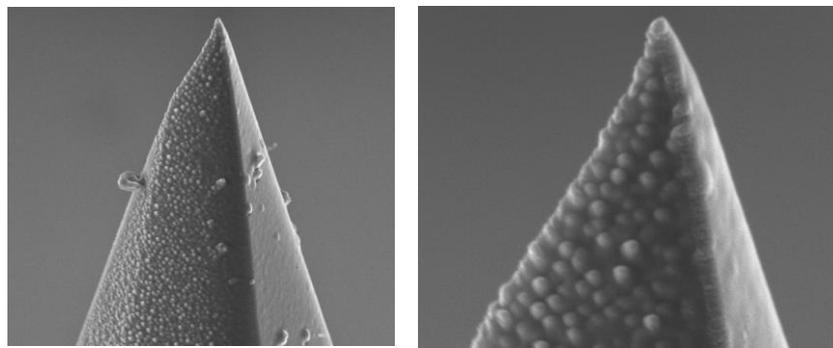
Модифицирование зонда с использованием углеродных нанотрубок



Модифицирование зондов АСМ с целью упрочнения

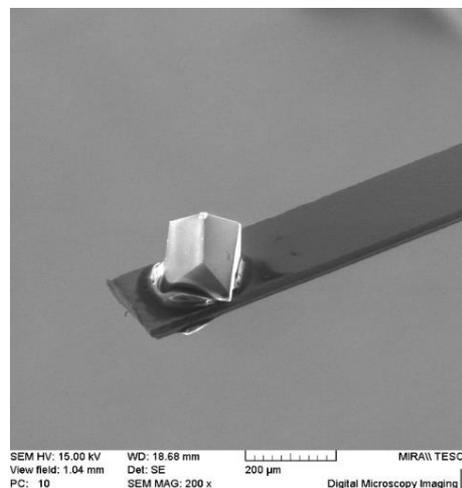


Экспериментальный результат изгиба УНТ– $E=1$ ТПа



Алмазоподобное покрытие.

Радиус острия 15 нм.



Алмазное острие

(характерный
размер 70 – 100
мкм)

Радиус острия
250 нм

Surface Explorer

1. Функции визуализации СЗМ-изображений

двухмерное представление и трехмерное представление

построение совместного изображения: совмещение трехмерной топографии с данными карты свойств

имитация подсветки

настройка цветовой палитры изображения пользователем в том числе с использованием имеющихся цветовых схем
создание отчетов и т.д.

2. Функции обработки и преобразования СЗМ-изображений

выравнивание по линиям сканирования, по поверхности, по выделению и т.д.

3. Построение профилей поперечного сечения

4. Расчет статистических параметров СЗМ-изображений

5. Специализированные функции

набор функций фильтрации СЗМ-изображений

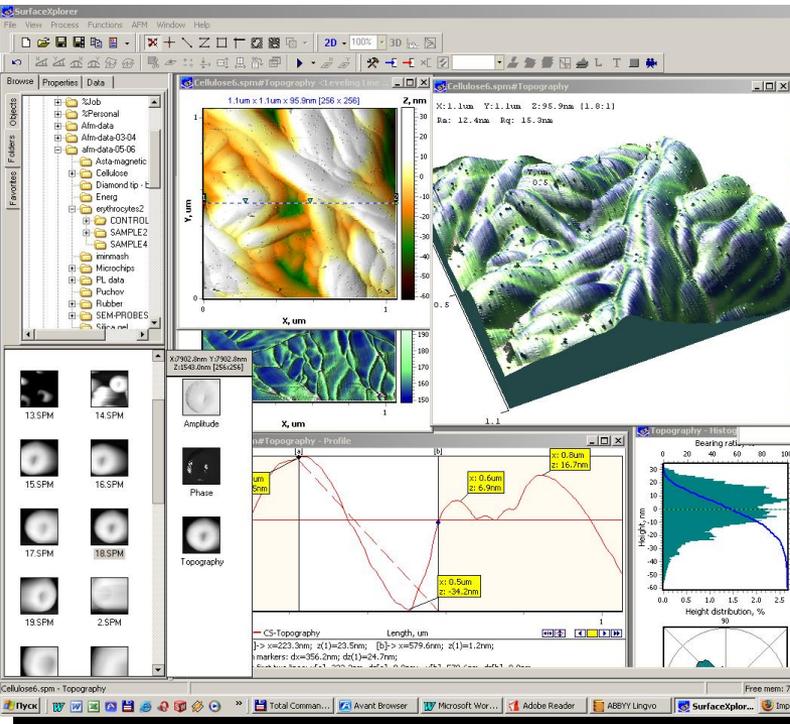
расчет и анализ модуля упругости по СЗМ-данным силовой спектроскопии (кривым подвода-отвода)

функция построения многослойных изображений (нанотомография)

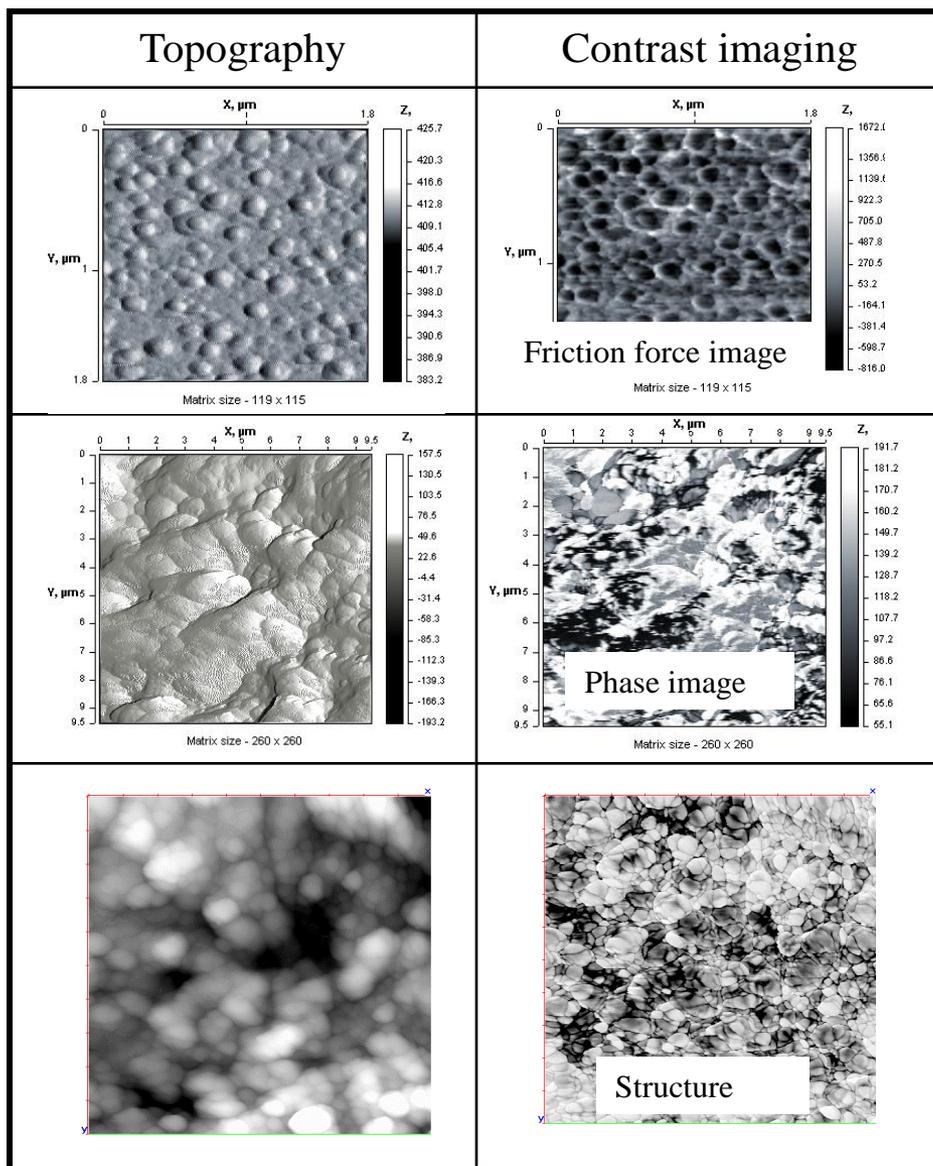
расчет формы острия зонда и вычитание факторов ее влияния из СЗМ-изображения топографии

фрактальный анализ и т. д.

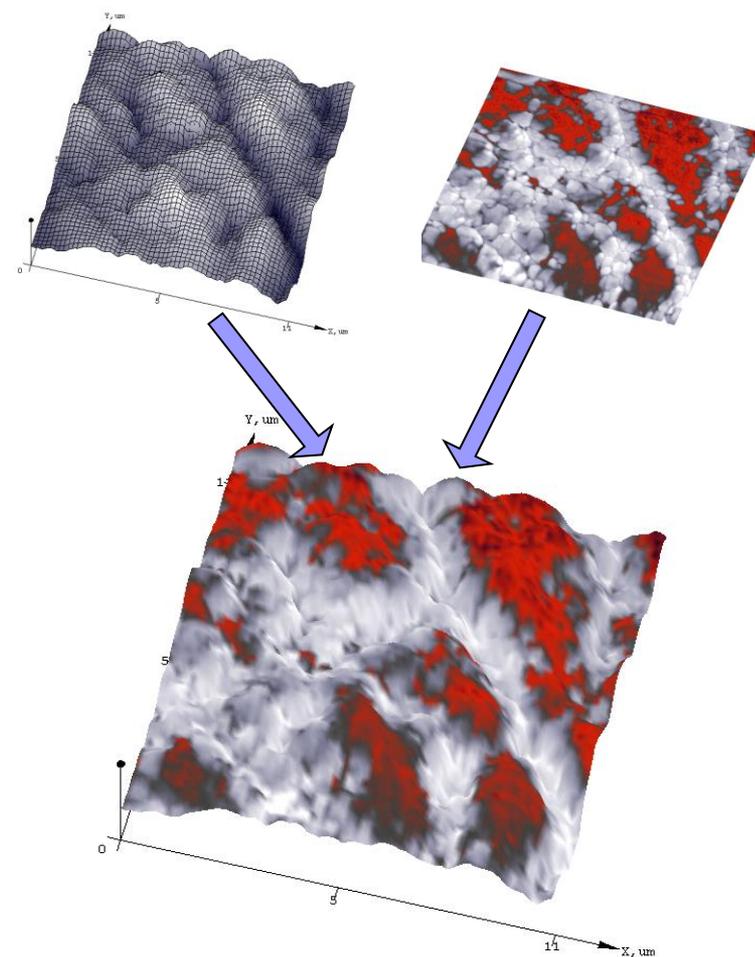
- Свыше 300 отдельных процедур и функциональных опций
- Свыше 40 функций



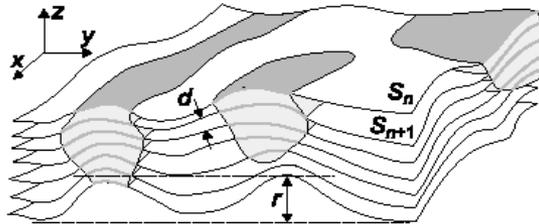
Атомно-силовая микроскопия топографии и контраста



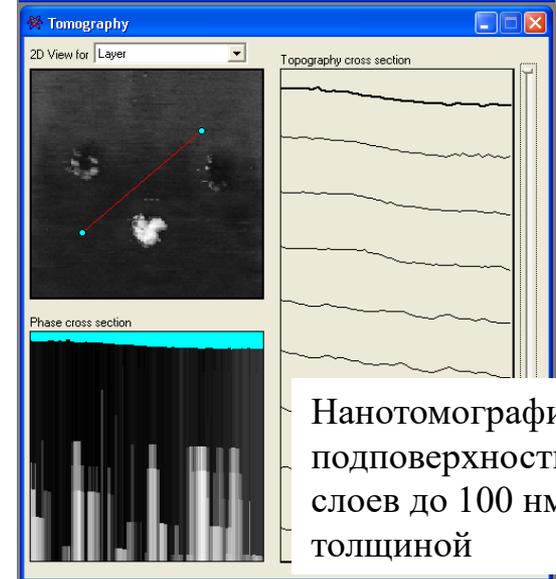
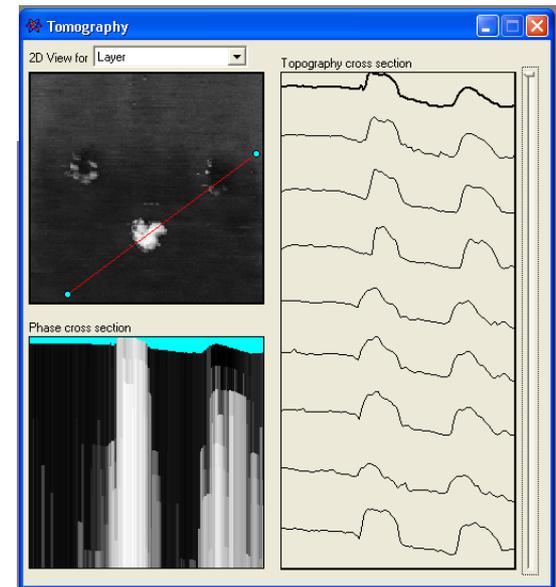
Пример обнаружения слоев трибографитизации на алмазоподобных покрытиях



Неразрушающая СЗМ и нанотомография



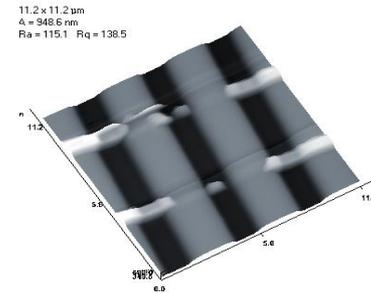
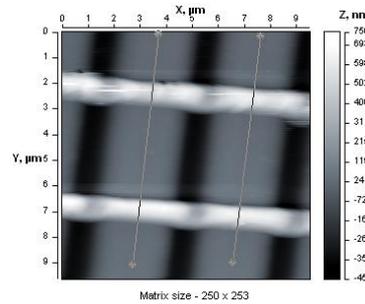
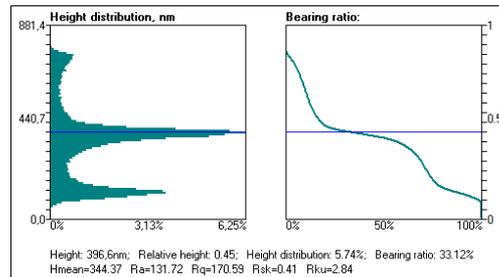
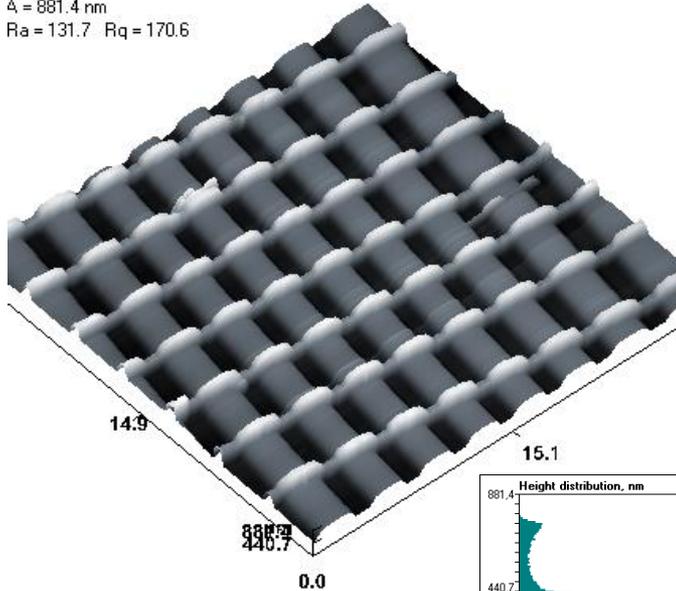
Set-point parameter	Topography	Phase contrast	Images characteristics
$r_{sp}=0,67$			$h_{max} = 127,1 \text{ nm}$ $h_{ms} = 21,3 \text{ nm}$ $\phi_{max} = 64,4^\circ$ $\phi_{ms} = 5,0^\circ$ Here and below size of scan $7,2 \mu\text{m}$
$r_{sp}=0,44$			$h_{max} = 128,9 \text{ nm}$ $h_{ms} = 20,1 \text{ nm}$ $\phi_{max} = 70,4^\circ$ $\phi_{ms} = 8,3^\circ$
$r_{sp}=0,27$			$h_{max} = 134,2 \text{ nm}$ $h_{ms} = 21,3 \text{ nm}$ $\phi_{max} = 72,9^\circ$ $\phi_{ms} = 12,4^\circ$
$r_{sp}=0,16$			$h_{max} = 135,3 \text{ nm}$ $h_{ms} = 21,6 \text{ nm}$ $\phi_{max} = 72,3^\circ$ $\phi_{ms} = 19,5^\circ$



Контроль интегральных микросхем

Определение всех трех уровней топографии на изображениях:
подложка, рельефы, шины
Детектирование шин неправильной формы

30.2 x 29.9 μm
 $\Delta = 881.4 \text{ nm}$
 $R_a = 131.7 \quad R_q = 170.6$



Статистическое распределение высот уровней рельефа

Surface Reconstructor

Image | Tip | Statistics

Image: [Image] Tip: [Tip] Result: [Result]

Tip properties:
Image size: 152.06nm x 152.06nm
Image height: 7495.72nm
Matrix size: 15 x 15
Scale: 10.14 nm/px

Min: 0.000
Max: 84.669
Average: 0.237
Standard deviation: 3.466
Difference: 0.039 / 0.096

Open image [] Show image [x] Show torsion []
Calculate difference []

Open Torsion [] No torsion loaded []
Set max torsion: [20]

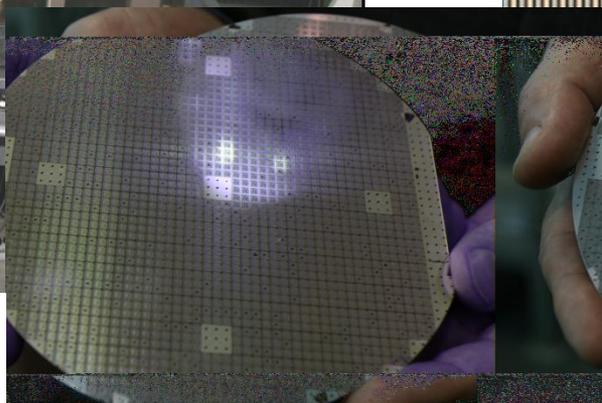
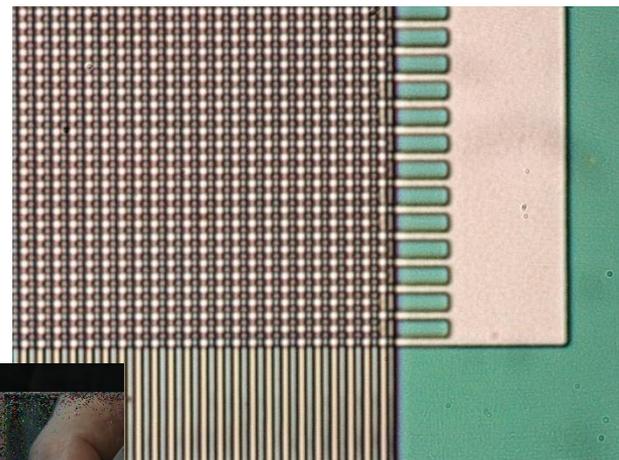
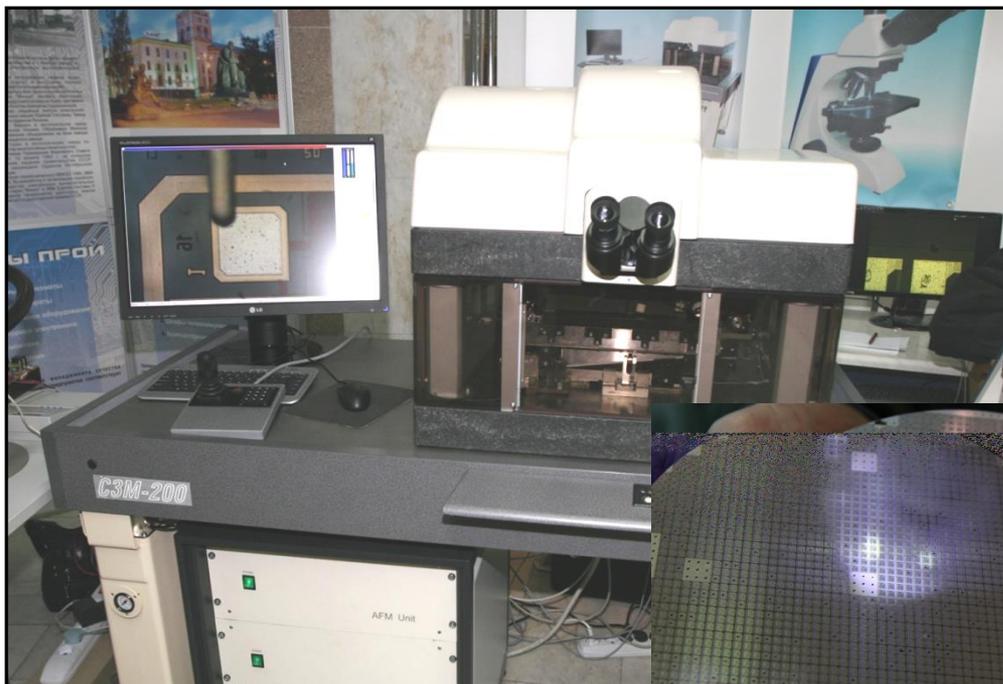
Use Torsion []
Calculate erosion []
Calculate dilation []
Calculate certainty map []

Open result [] Show result [x] Show difference []
Save result []

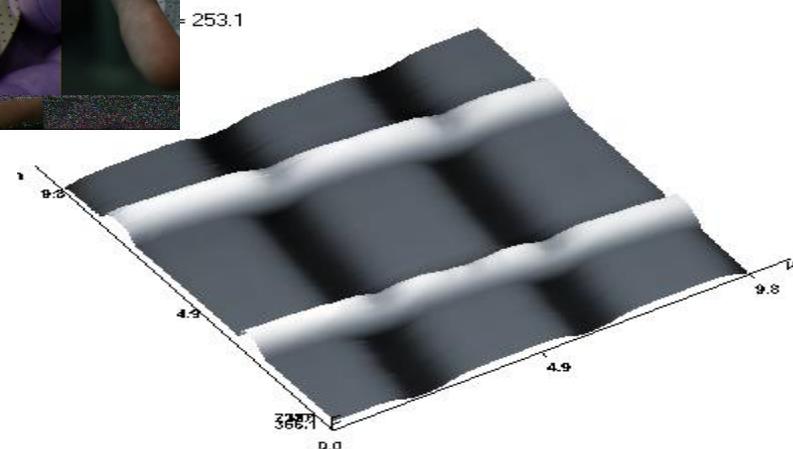
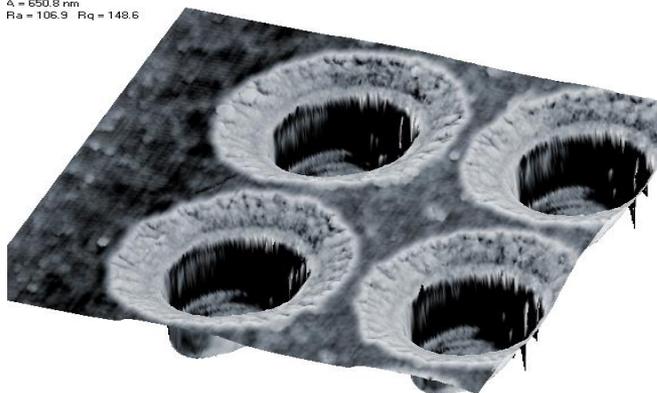
Result properties:
Image size: 2595.23nm x 2595.23nm
Image height: 1058.36nm
Matrix size: 256 x 256
Scale: 10.14 nm/px

Комплекс СЗМ-200 для контроля изделий субмикро- и наноэлектроники

Совместная разработка НПО «Планар»
и ИТМО НАН Беларуси



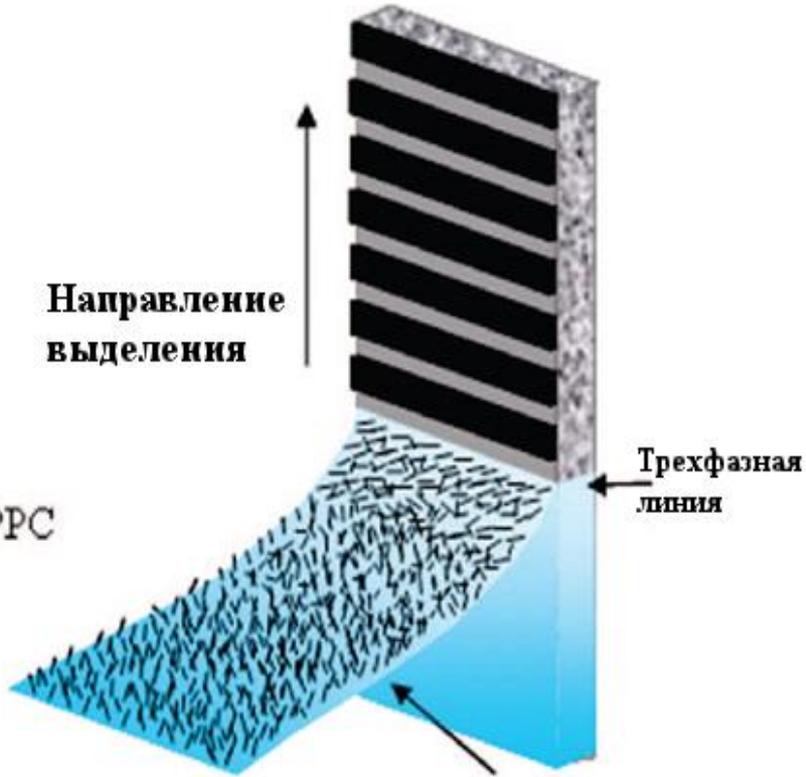
3.8 x 3.8 μm
 $\Delta = 650.8 \text{ nm}$
 $Ra = 106.9$ $Rq = 148.6$



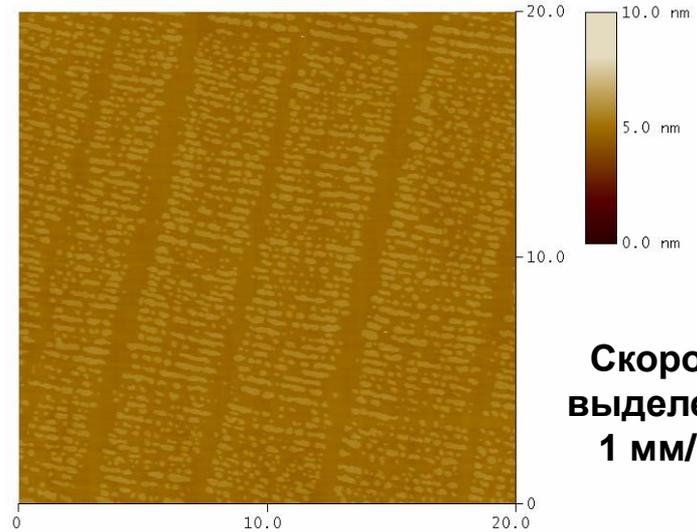
Формирование структурированных пленок в процессе выделения монослоев

возможное применение в качестве биосенсорной поверхности

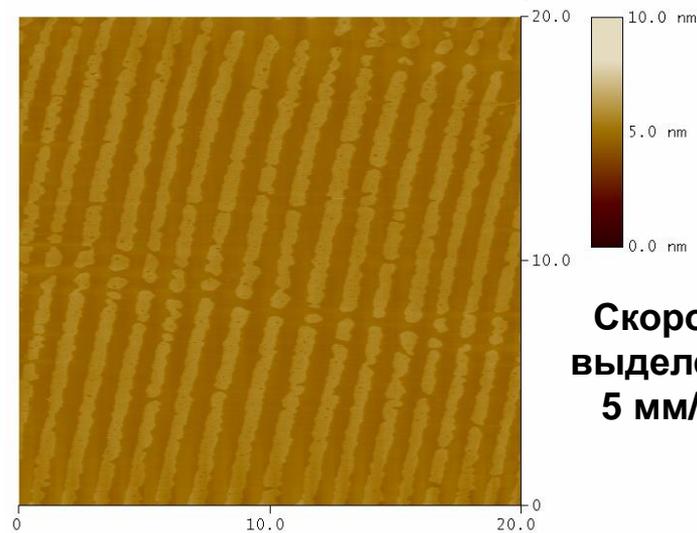
Направление
выделения



Ленгмюровский
монослой, LE фаза



Скорость
выделения
1 мм/сек



Скорость
выделения
5 мм/сек

Формирование пленок ЛБ с помощью роликовых технологий

возможные применения: фотонные кристаллы, гибкие дисплеи, пластиковая электроника, солнечные элементы и ультратонкие мембранные слои

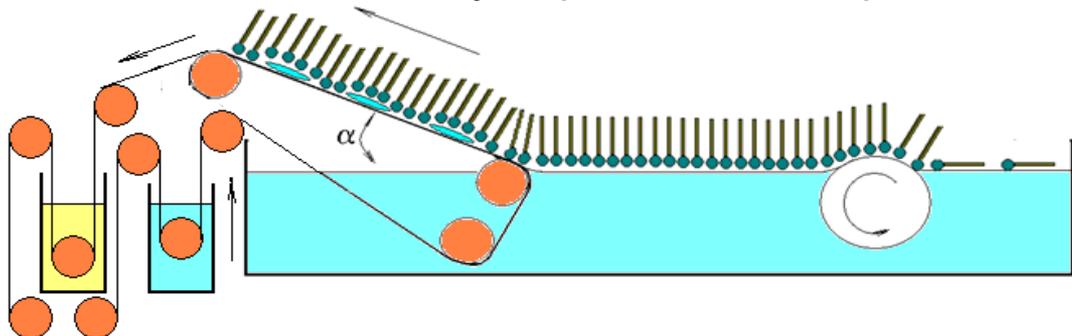
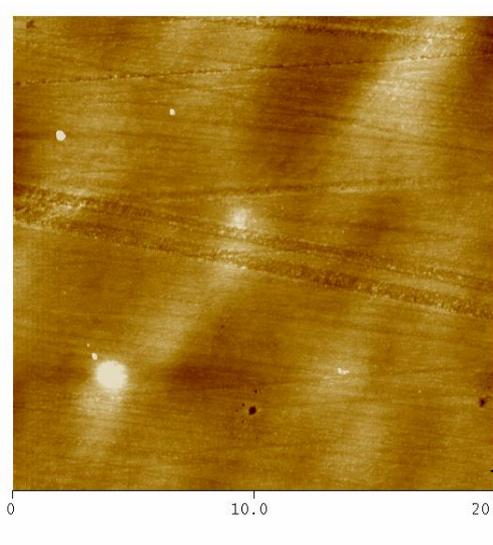


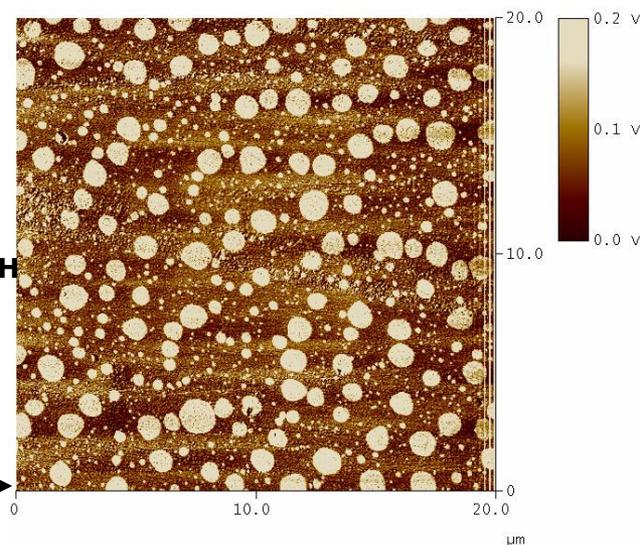
Схема процесса модификации гибкой основы с помощью «роликовых» технологий



АСМ-изображения
композиционной пленки
полиметилметакрилат:
дипальмитоилфосфатидилхолин
(1:20)
на гибкой основе
(полиэтилентерефталат)

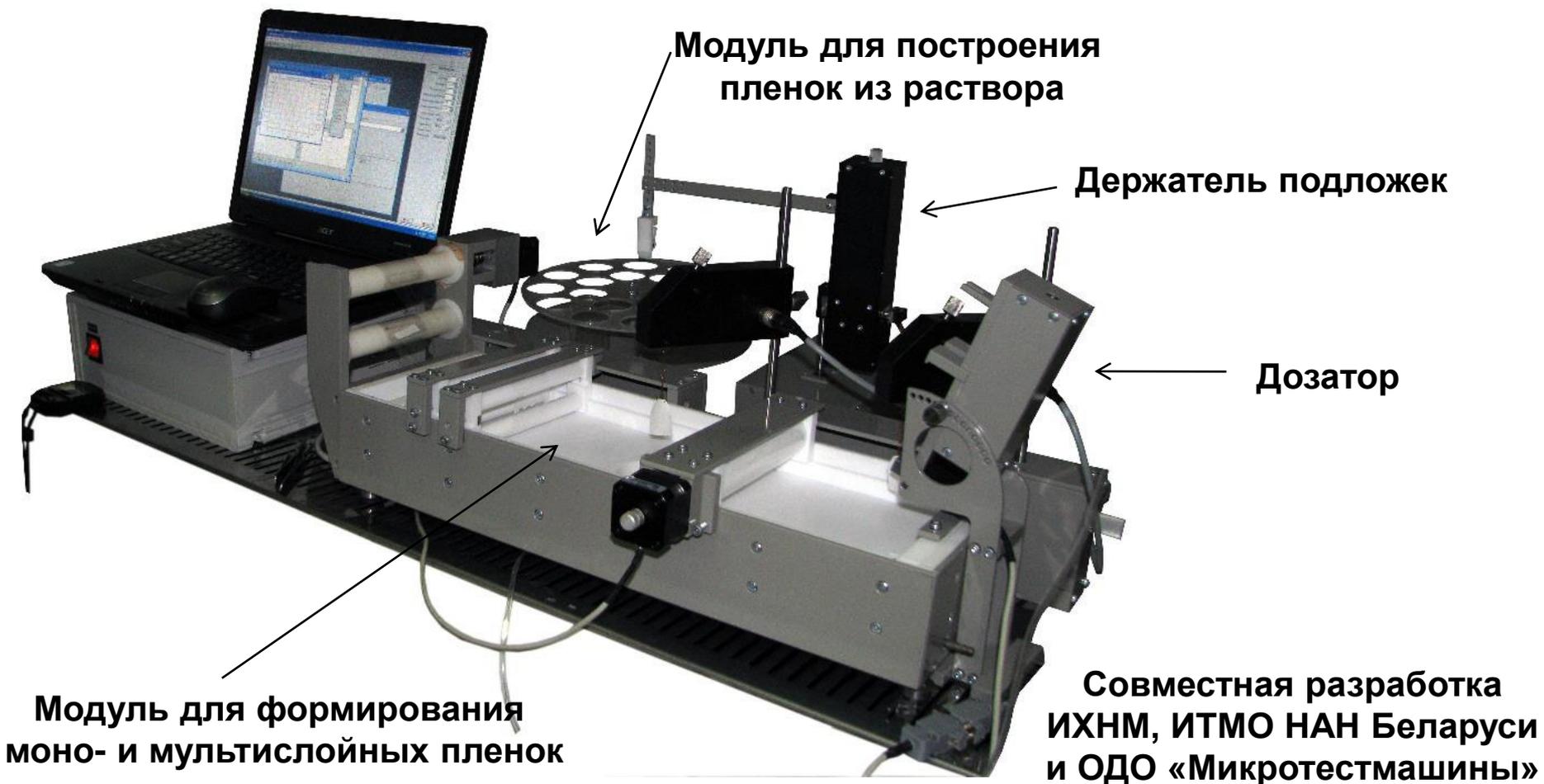
Топография

Фаза



Установка ЛТ-201 для формирования тонких пленок

традиционным вертикальным методом,
методом горизонтального осаждения,
за счет самоорганизации из раствора





National Academy of Sciences of Belarus

was founded
in 1928



Спасибо за внимание!