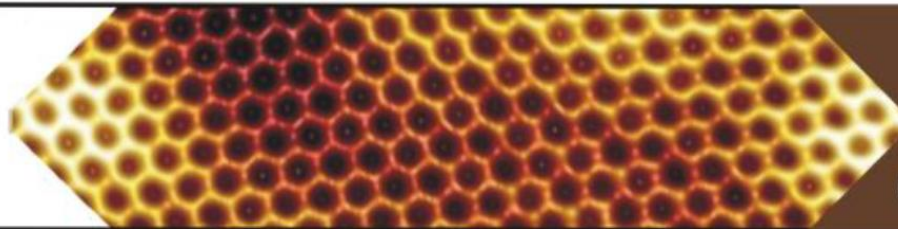




**ИФТТ РАН
ISSP RAS**



Applications of scanning
probe microscopy
out of ambient conditions

Сканирующая зондовая техника НТ-МДТ – приборы и ВОЗМОЖНОСТИ

**В.А. Быков, Ан.В. Быков, А.А. Быков, Ю.А. Бобров, В.В. Котов, С.И. Леесмент,
В.И. Поляков**

ООО «НТ-МДТ», Группы компаний НТ-МДТ Спектрум Инструментс, Москва

*NT-MDT-Spectral Instruments,
124460, Russia, Moscow, Zelenograd, Proezd 4922, 4/3
www.ntmdt-si.com, spm@ntmdt-si.ru
Нанотехнологическое общество России
www.rusnor.org
Moscow Institute of Physics and Technology,
141701, Russia, Moscow6 Dolgoprudny, 9 Institutskiy per.*

О КОМПАНИИ

Вот уже много лет специалисты ООО НТ-МДТ (Москва, Зеленоград) и все сотрудники группы компаний NT-MDT Spectrum Instruments участвуют в разработке, производстве и поддержке исследовательского оборудования, в первую очередь, атомно-силовых микроскопов (АСМ) и их комбинаций со спектроскопией сверхвысокого разрешения для нанотехнологии и ее приложений. Наш путь был отмечен созданием большого количества устройств, функции и возможности которых охватывают широкий спектр потребностей клиентов в различных областях: университетское образование, академические и промышленные исследования.

Инновационный бизнес ООО НТ-МДТ представлен компаниями в России, Европе, США, и Китае, объединенных общими зарегистрированными товарными знаками NT-MDT и NT-MDT Spectrum Instruments, а также дистрибуторами в более чем 30 странах мира



United States of America
United States Patent and Trademark Office

NTEGRA

Reg. No. 5,926,648
Registered Dec. 03, 2019
Int. Cl.: 9
Trademark
Principal Register

NT-MDT LLC (RUSSIAN FEDERATION limited liability company)
Proszel 4922
4/3 Zelenograd
Moscow, RUSSIAN FED. 124460

CLASS 9: Nano technology instruments, namely, microscopes, measuring apparatus and measuring instruments, namely, atomic force microscopes, scanning probe microscopes, integrated atomic force microscopes and confocal Raman microscopes, integrated atomic force microscopes with interferometers for nano-IR infrared measurements, scanning tunneling microscopes, atomic force microscopes for electrochemical measurements, atomic force microscopes with external magnetic fields, atomic force microscopes for work in low vacuum, atomic force microscopes for quantitative nano-mechanical measurements, atomic force microscopes for work in liquids, computers; downloadable computer software for control of atomic force microscopes systems, image acquisition, image in the field of chemistry, physics, biology, semiconductors, metrology, material science; electric apparatus and instruments, namely, atomic force microscopes, scanning probe microscopes, scanning tunneling microscopes, scanning confocal Raman microscopes; microscopes and parts thereof

FIRST USE 12-31-2003; IN COMMERCE 12-31-2003

THE MARK CONSISTS OF STANDARD CHARACTERS WITHOUT CLAIM TO ANY PARTICULAR FONT STYLE, SIZE OR COLOR

SER. NO. 88-459,324, FILED 06-04-2019



Ardenne Bureau
Director of the United States
Patent and Trademark Office



EUROPEAN UNION INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE CERTIFICATE OF REGISTRATION

This Certificate of Registration is hereby issued for the European Union trade mark identified below. The corresponding entries have been recorded in the Register of European Union trade marks.

AMT DER EUROPÄISCHEN UNION FÜR GEISTIGES EIGENTUM EINTRAGUNGSRURKUNDE

Diese Eintragungsurkunde wird für die unten angegebene Unionsmarke ausgestellt. Die betreffenden Angaben sind in das Register der Unionsmarken eingetragen worden.

Registered / Eingetragen 01/07/2021

No 018427489

NTEGRA
Marlin

The Executive Director / Der
Exekutivdirektor

Christian Archambeau

www.euipo.europa.eu

第 42431118 号

商标注册证

NTEGRA

核定使用商品/服务项目 (国际分类: 9)
第9类: 显微镜 (截止)

注册人 恩特-姆帝特有限责任公司
NT-MDT LLC

注册人地址 俄罗斯莫斯科列宁区格罗兹大道4/3幢, 邮编: 124460
Proszel 4922, 4/3 Zelenograd, Moscow, 124460, Russia

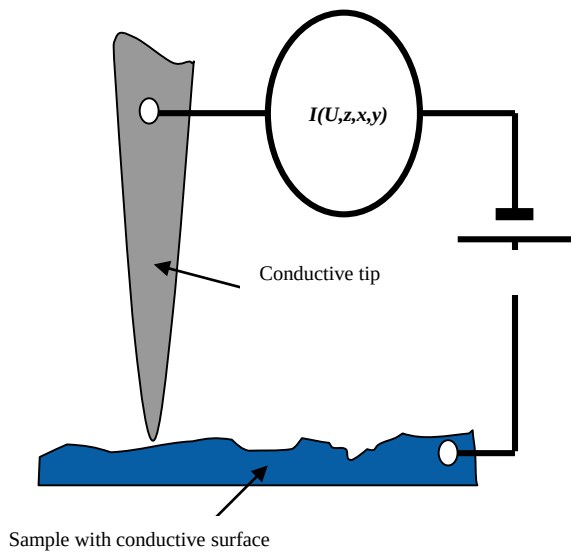
注册日期 2020年08月07日 有效期至 2030年08月06日

局长 申长雨 发证机关

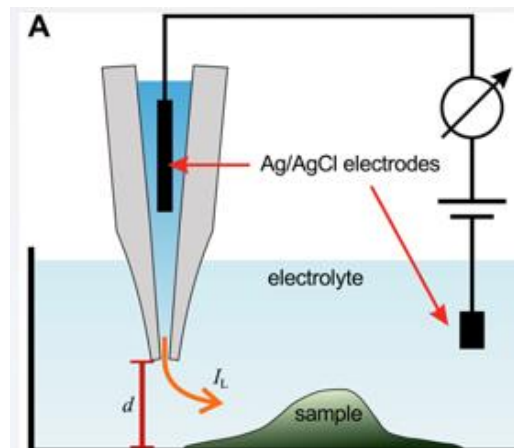
局 申长雨

知识产

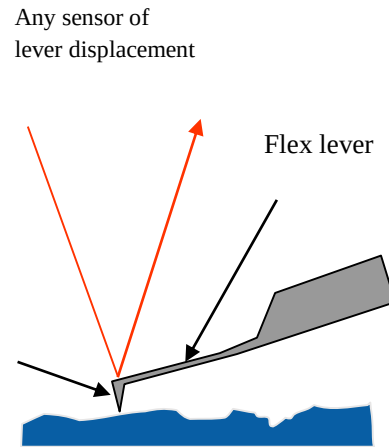
Scanning Probe Microscopy (SPM)



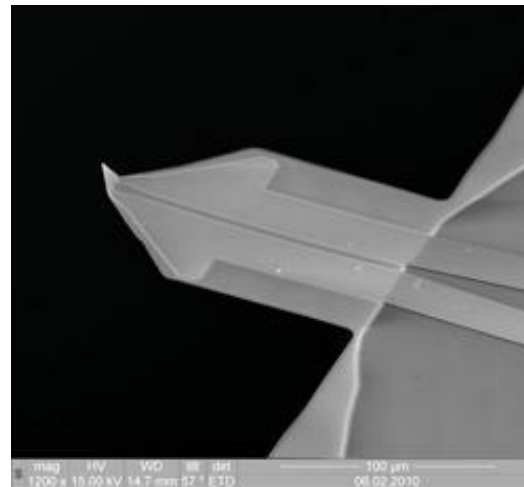
Scanning Tunneling
Microscopy
Conductive samples



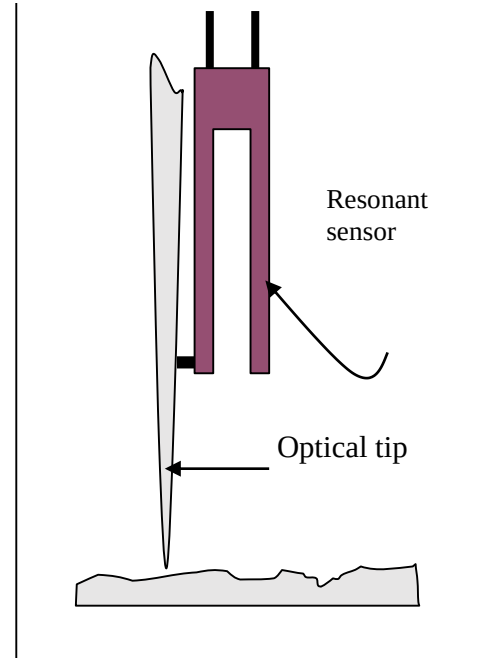
Scanning Electrochemical
Capillary Microscopy,
 $I - 10^{-9}$ - 10^{-15}



Atomic Force
Microscopy
Any solid surfaces

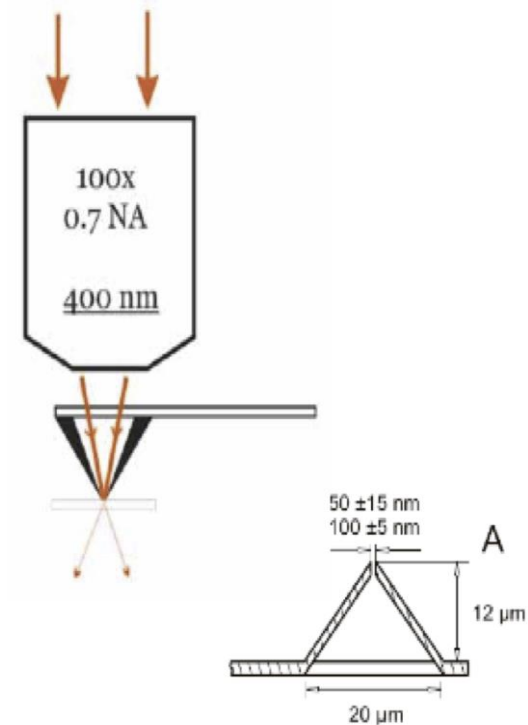


SEM image of the SThM probe

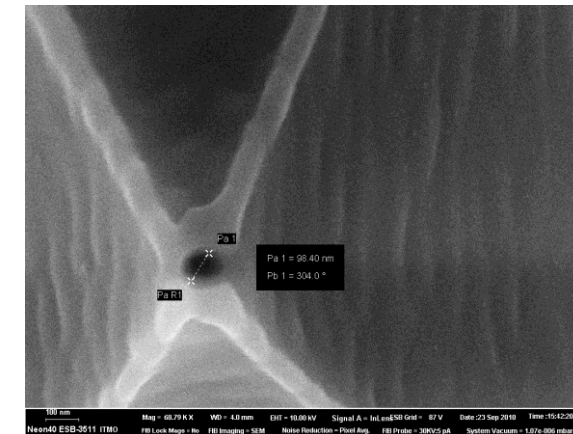


Aperture
Scanning Near-Field
Microscopy
Optical properties

Silicon cantilevers with aperture



NT-MDT produces all hardware and software to
work with such probes at all SNOM modes.

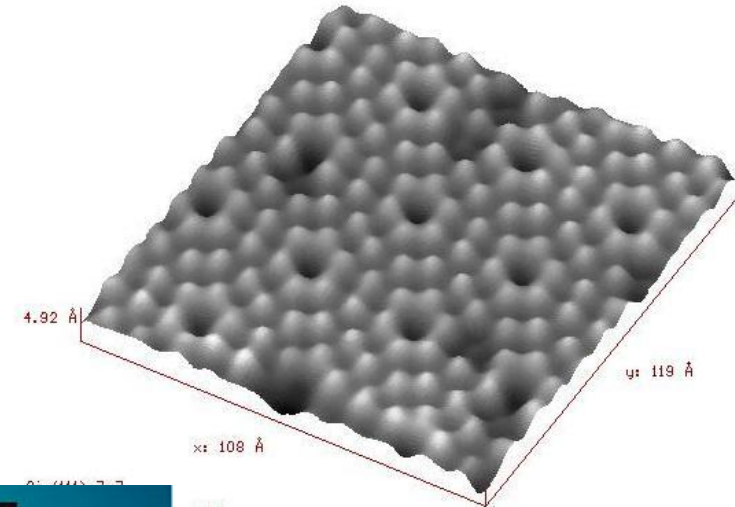
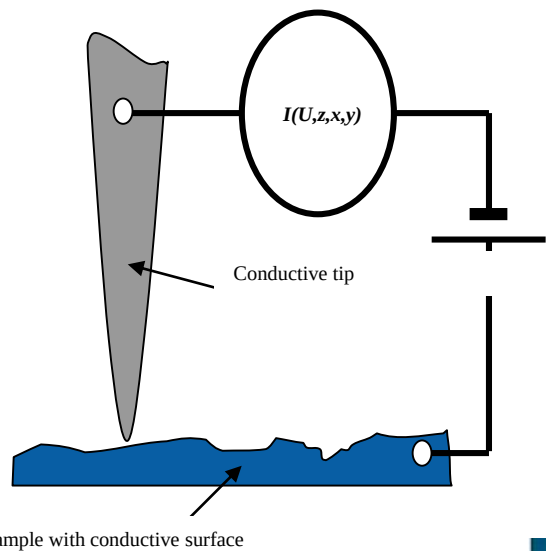


Типы зондовой микроскопии

- Туннельная микроскопия
- Атомно-силовая Микроскопия
- Капиллярная микроскопия
- Оптическая микроскопия ближнего поля
- Рамановская зондовая микроскопия
- Инфракрасная зондовая микроскопия

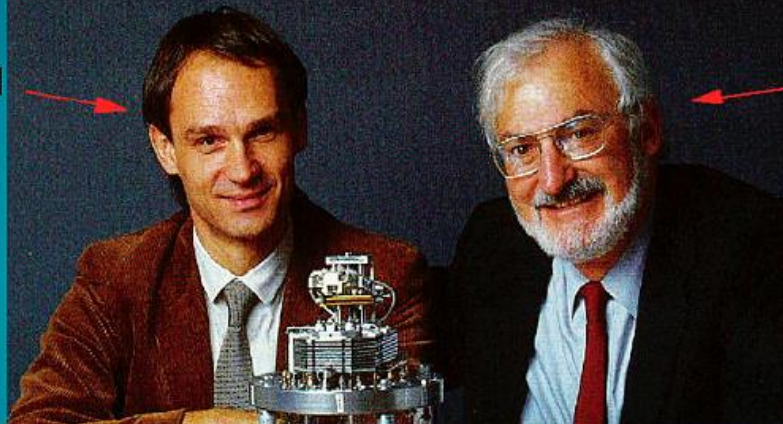
Туннельная микроскопия

В особенности интересна и информативна в сверхвысоко вакууме



Scanning Tunneling Microscope

Gerd



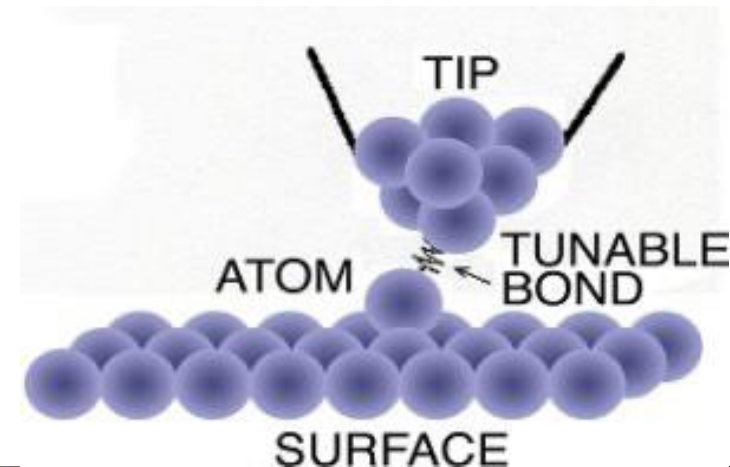
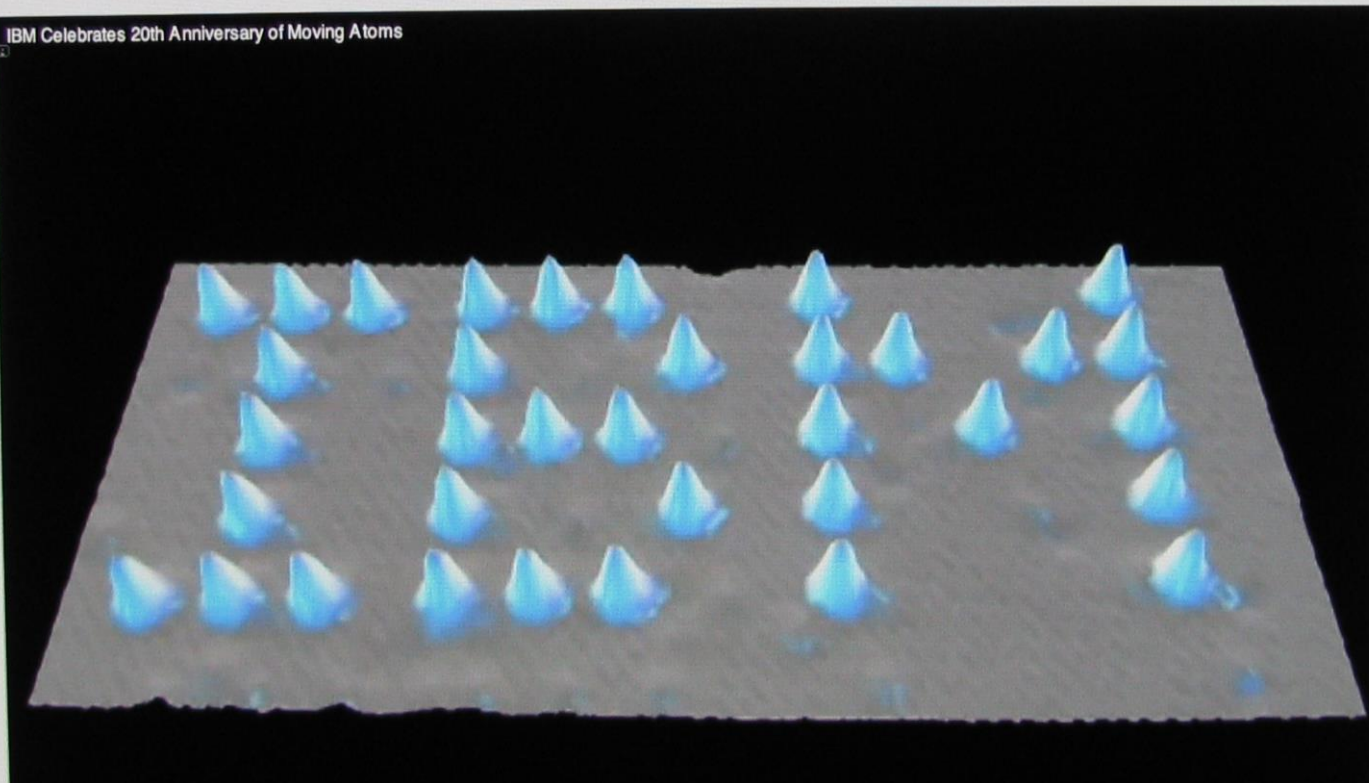
Heini

- ▲ Invented by Gerd Binnig and Heinrich Rohrer, IBM Research Division
- ▲ Atomic resolution images of surfaces
- ▲ 1986 Nobel Prize in physics

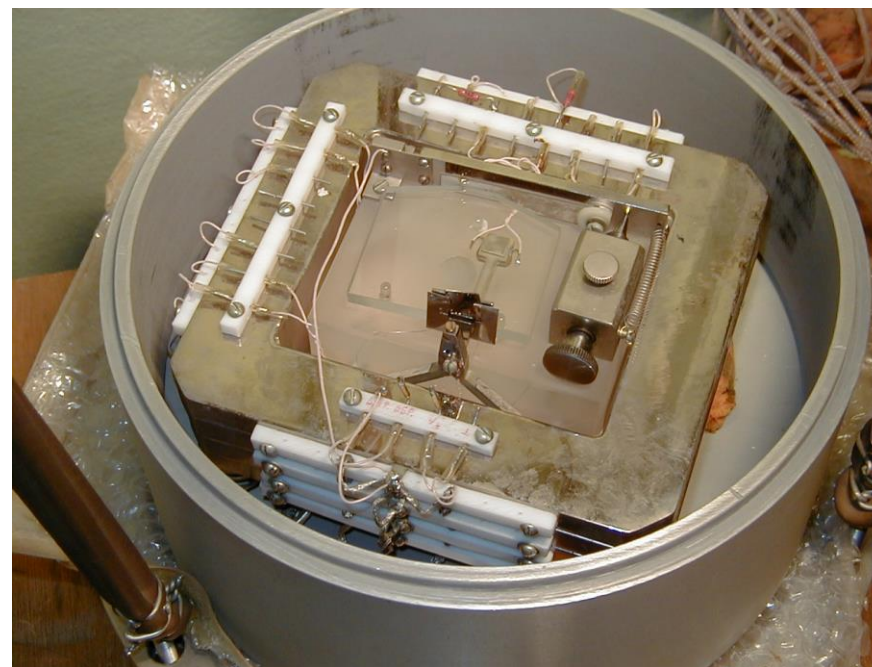
СТМ – Литография, манипуляция отдельными атомами

San Jose, Calif. - 28 Sep 2009: On this day in 1989, IBM Fellow [Don Eigler](#) became the first person in history to move and control an individual atom. Shortly thereafter, on November 11 of that year, Eigler and his team used a custom-built microscope to spell out the letters **IBM** (NYSE: IBM) with 35 xenon atoms. This unprecedented ability to manipulate individual atoms signaled a quantum leap forward in nanoscience experimentation and heralded in the age of nanotechnology.

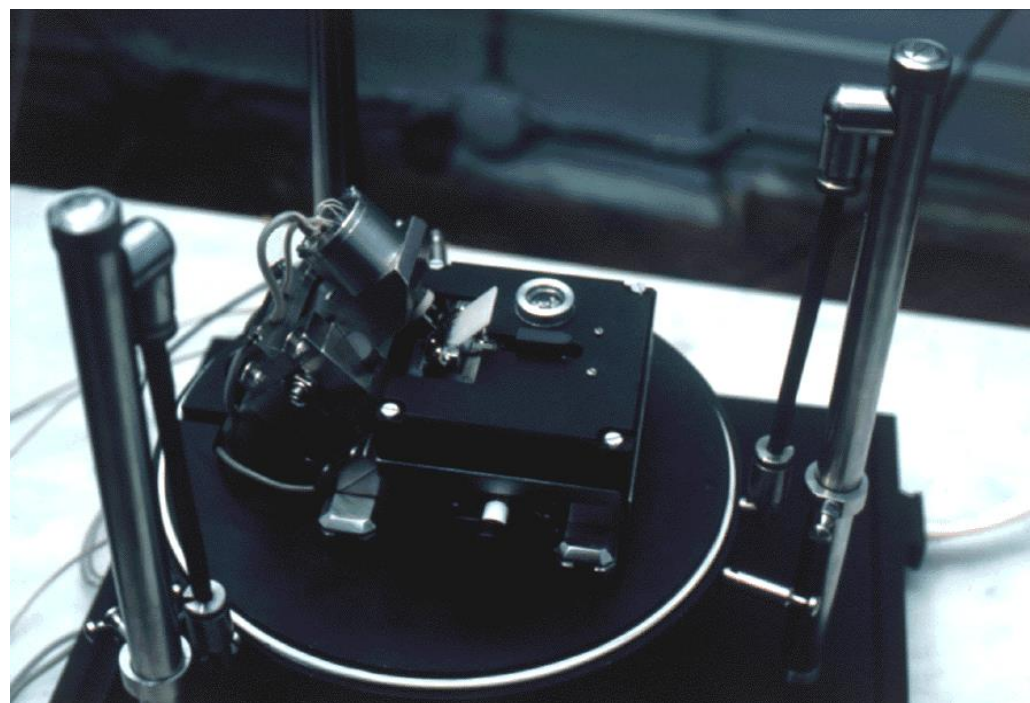
IBM Celebrates 20th Anniversary of Moving Atoms



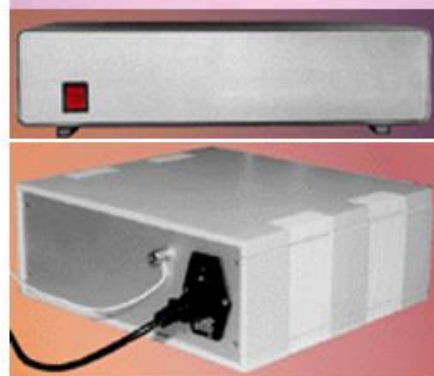
Первый туннельный микроскоп, разработанный в МДТ, 1989 год



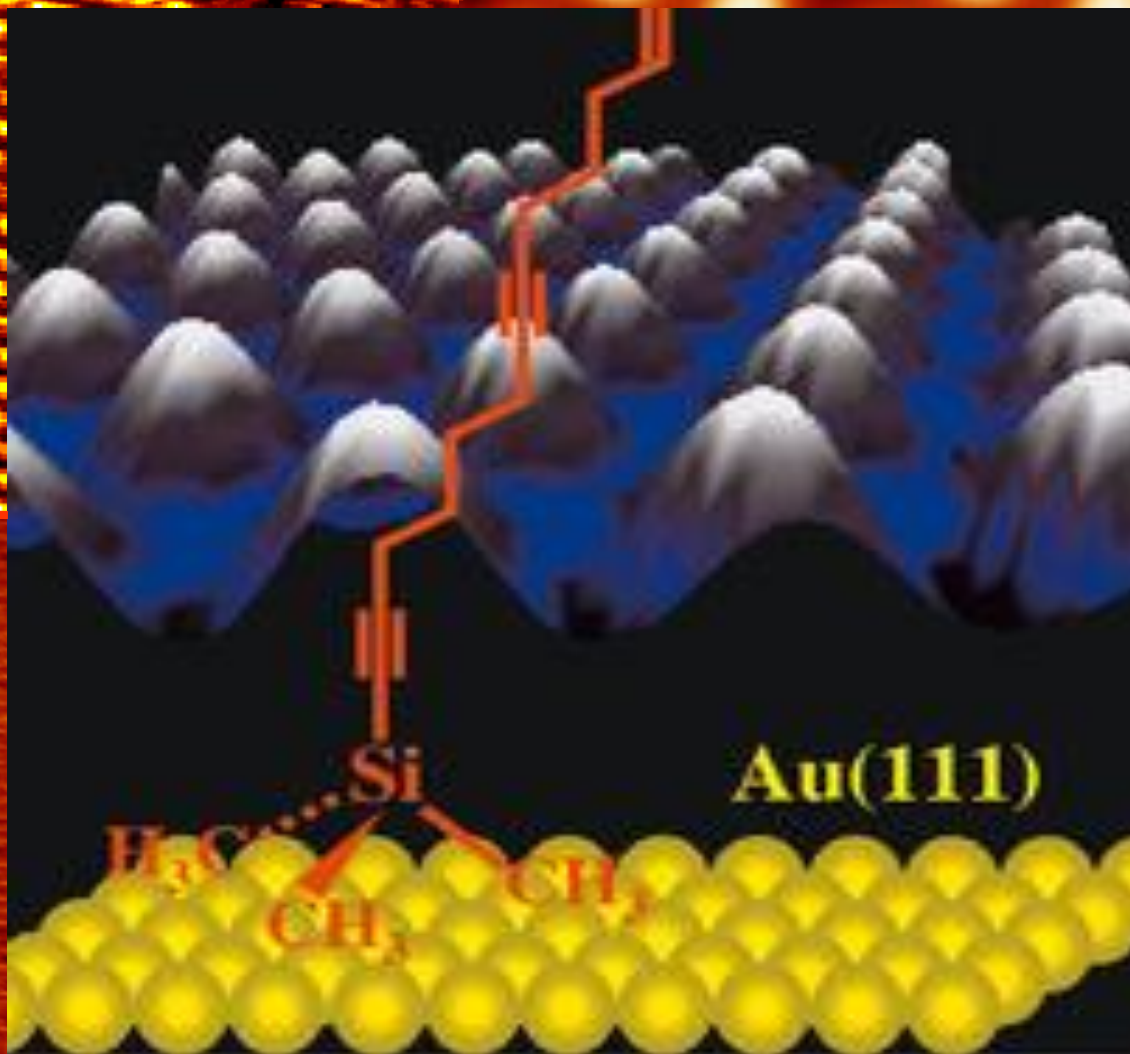
**СТМ-MDT-10-93, выпущенный компанией Нанотехнология-МДТ под
руководством автора (1993 год)**



**Сканирующие зондовые микроскопы
линии СОЛВЕР
«СОЛВЕР-Р4», 1994 – 1995 годы**

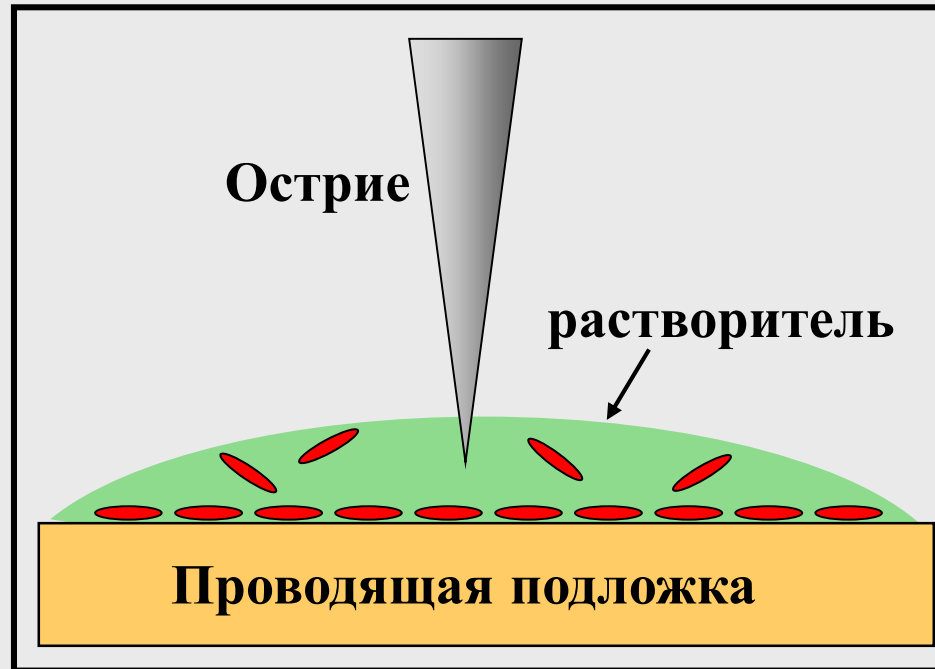


СТМ на границе твердое тело – непроводящая жидкость



АЛЕКСАНДР МАРЧЕНКО, Институт физики Национальной академии наук Украины

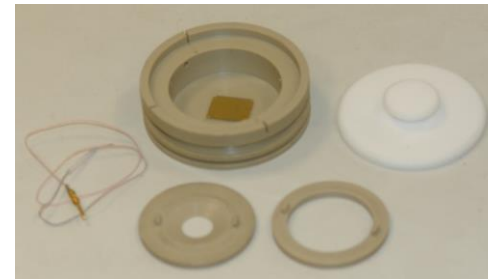
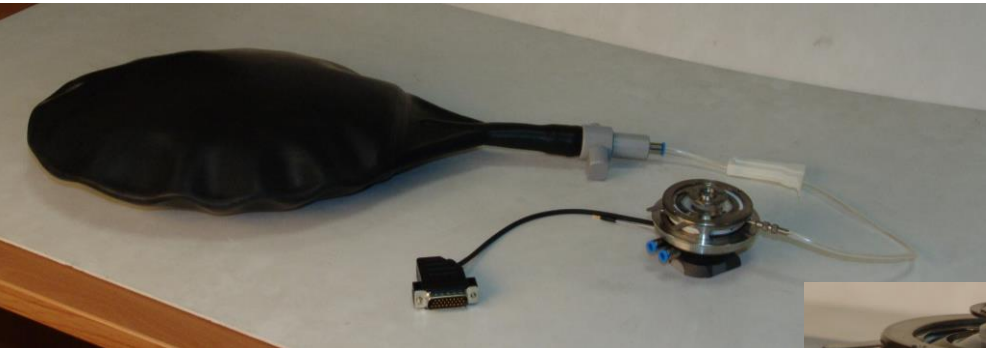
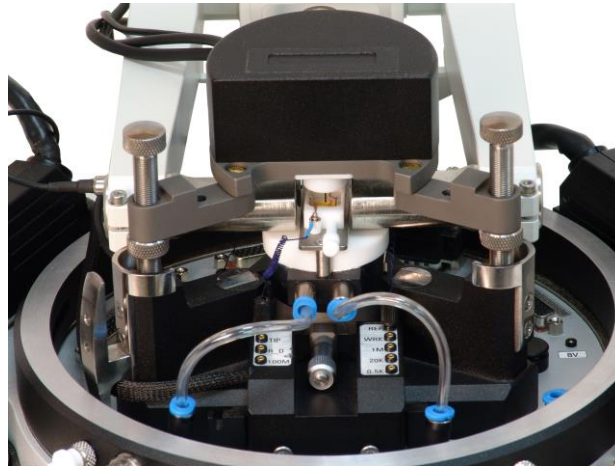
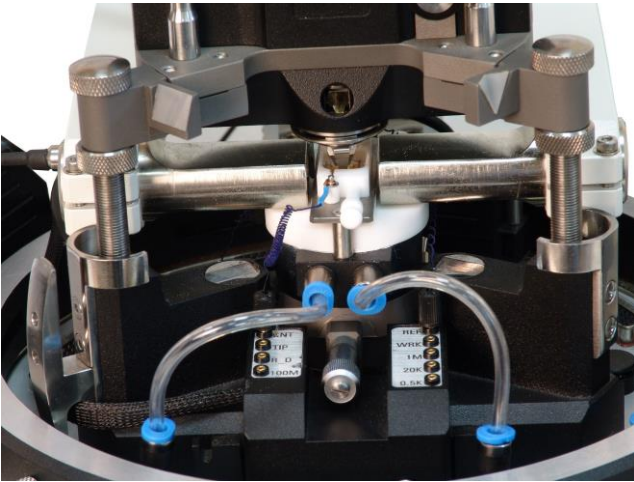
Принцип СТМ в жидкости



Преимущества

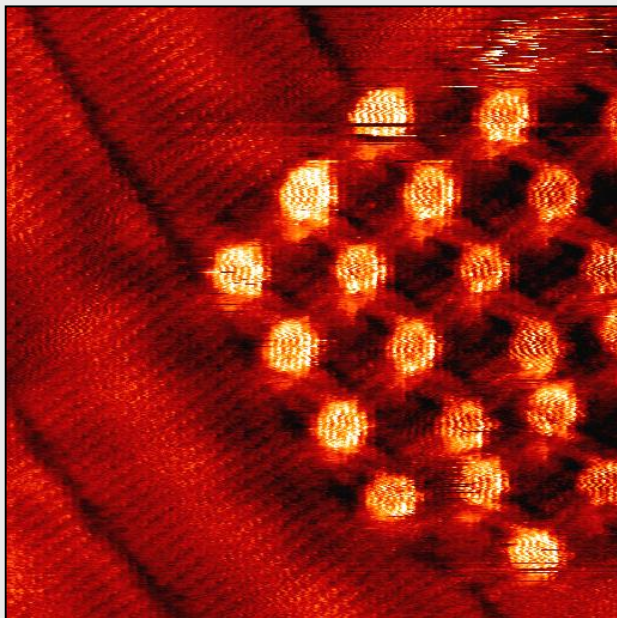
- нанесение из раствора
- возможность *in situ* наблюдений
- высокая оперативность
- разнообразие адсорбционных систем

EC NTEGRA: AFM and STM Design and EC Cells for the NTEGRA



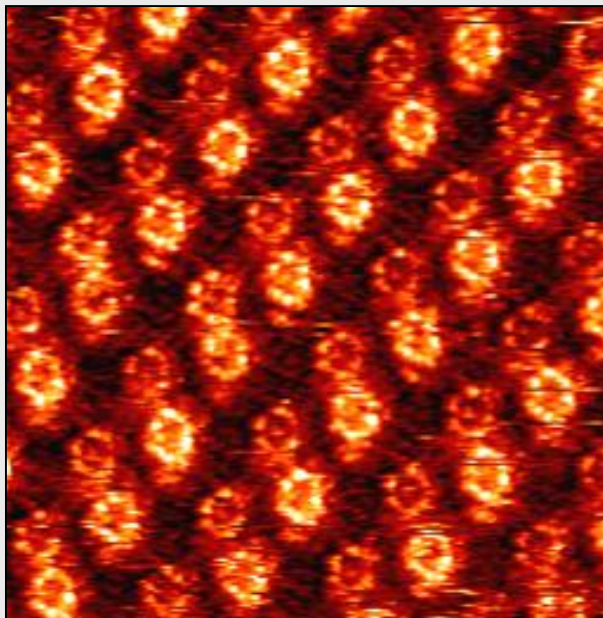
Фазовые превращения в НВС-монослоях на $C_{50}H_{102}$

α -phase



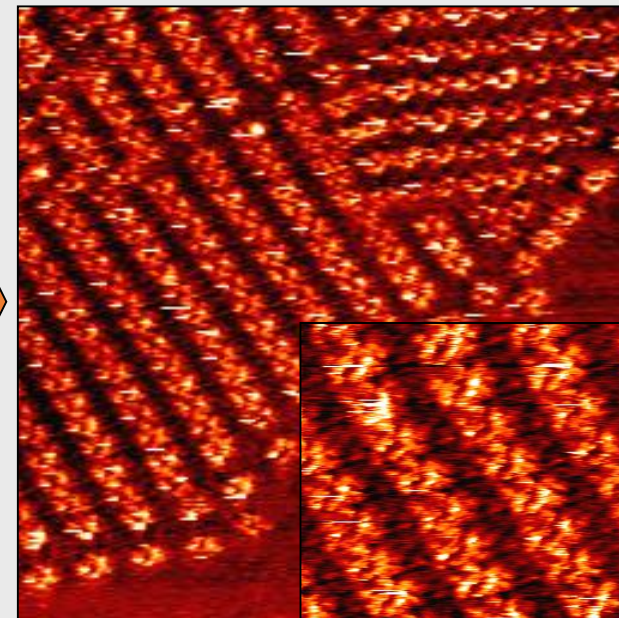
19 x 19 nm²

β -phase

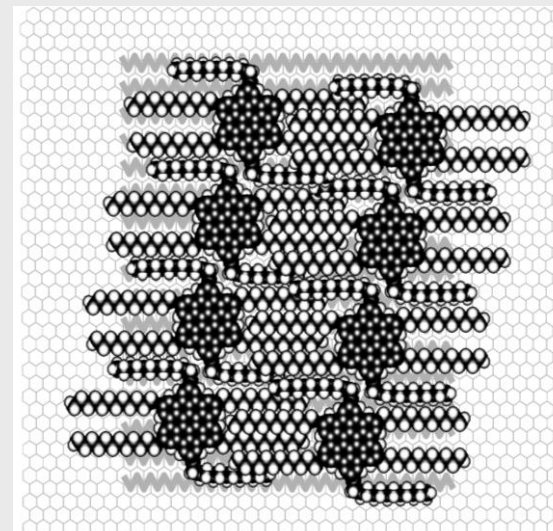
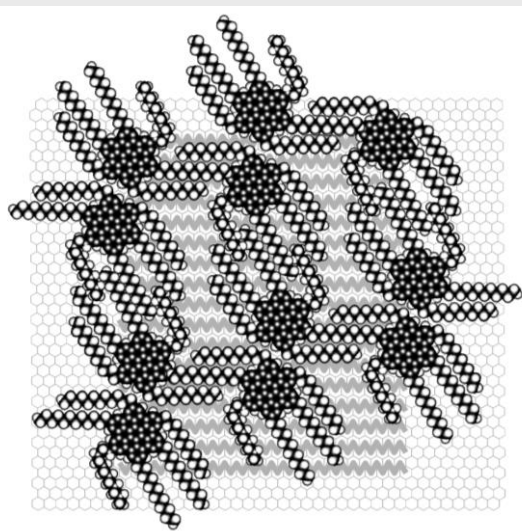
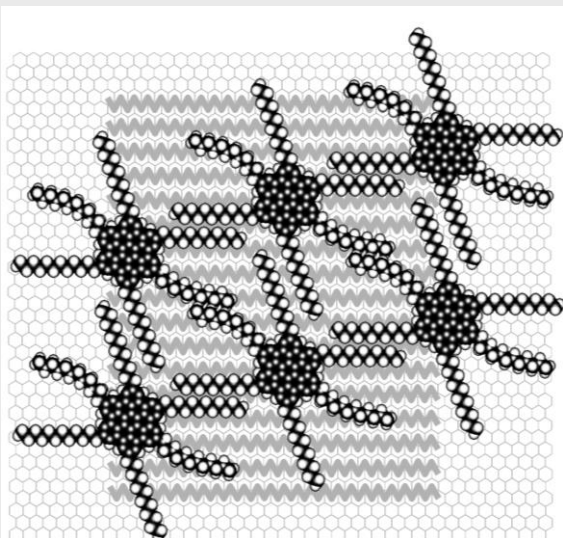


23 x 23 nm²

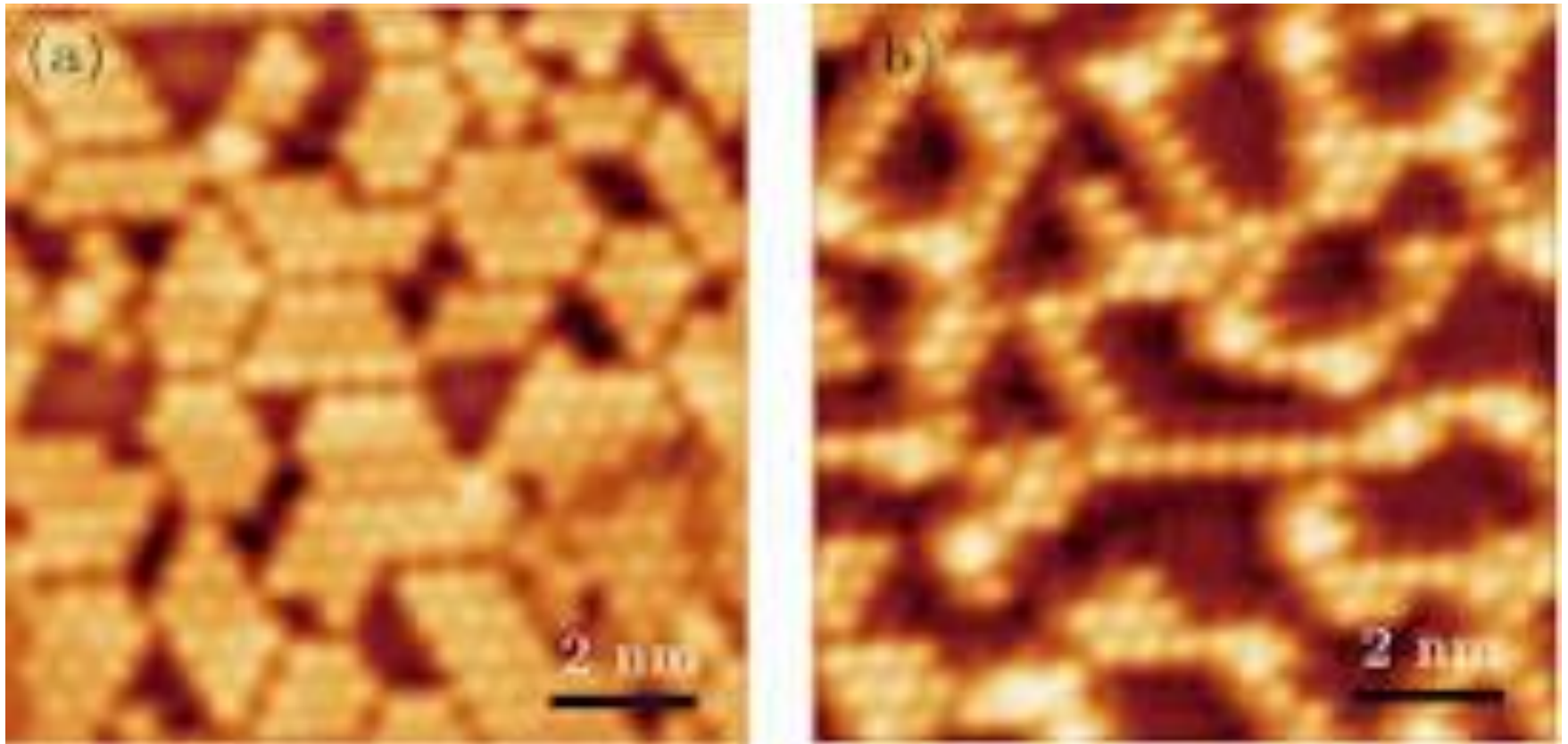
γ -phase



37 x 37 nm²



STM на поверхности монокристалла золота



СТМ-исследование адсорбции селена на поверхности Au(111) *

Бинь Лю (刘斌)¹, Юань Чжуан (庄源)¹, Яндэ Цюэ (阚炎德)¹, Чаоцян Сюй (徐超强)¹ и Сюйдун Сяо (肖旭东)¹

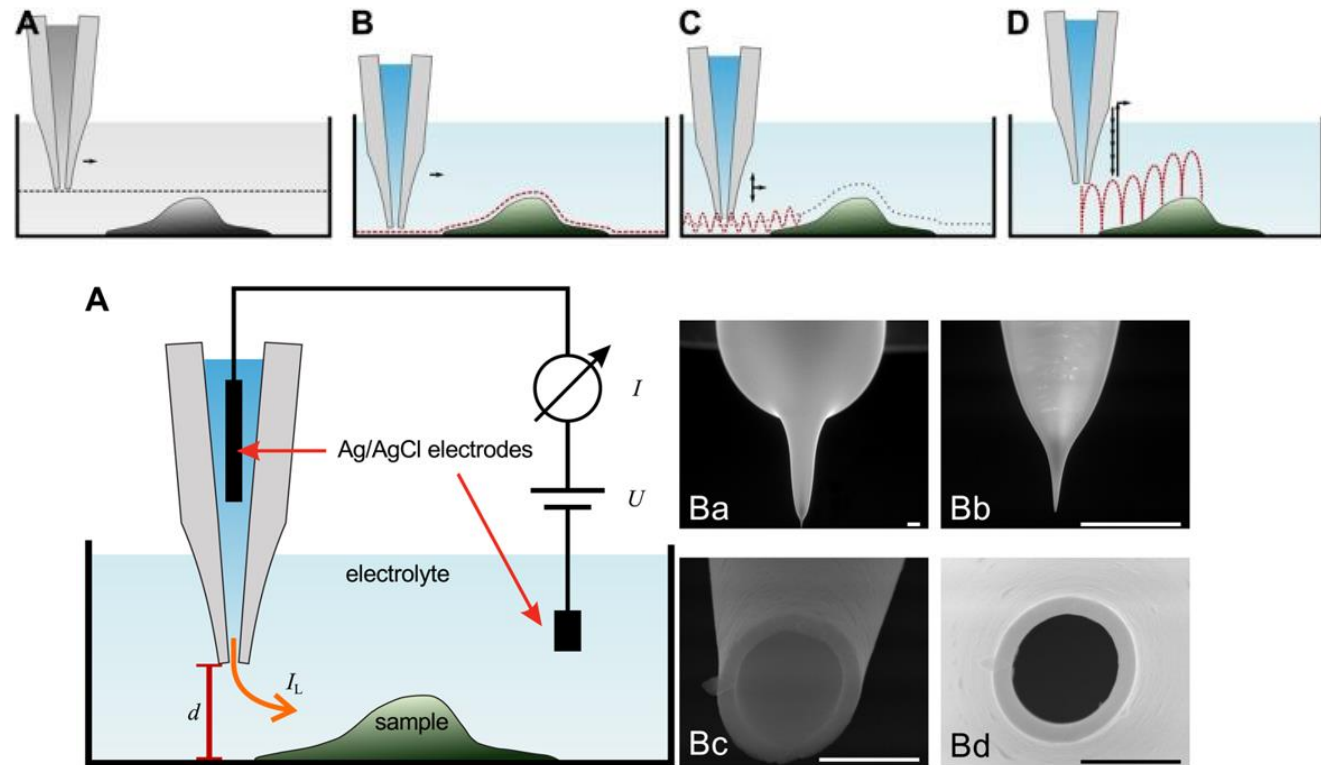
© 2020 Китайское физическое общество и IOP Publishing Ltd [Китайская физика В](#), [том 29](#), [номер 5](#)

Цитирование Bin Liu *et al* 2020, *Китайская физика. Б* **29** 056801

Сканирующая микроскопия ионной проводимости

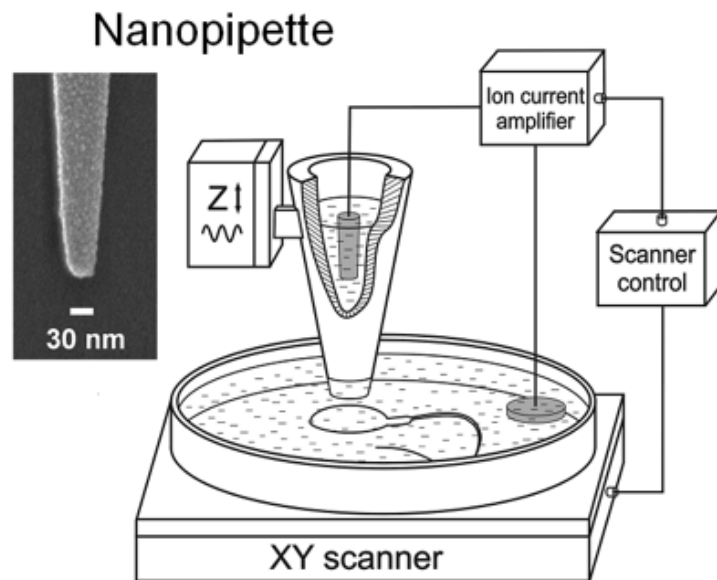
Сканирующая микроскопия ионной проводимости (СМИП) была предложена профессором Паулем Хансма (Paul Hansma) в 1989г. Ее методы позволяют измерять рельеф непроводящих поверхностей, погруженных в раствор электролита.

В отличие от традиционных методов СЗМ, методы СМИП не требуют наличия твердой поверхности у образца, а так же не повреждают ее, что позволяет исследовать живые клетки методами СМИП, не убивая их.



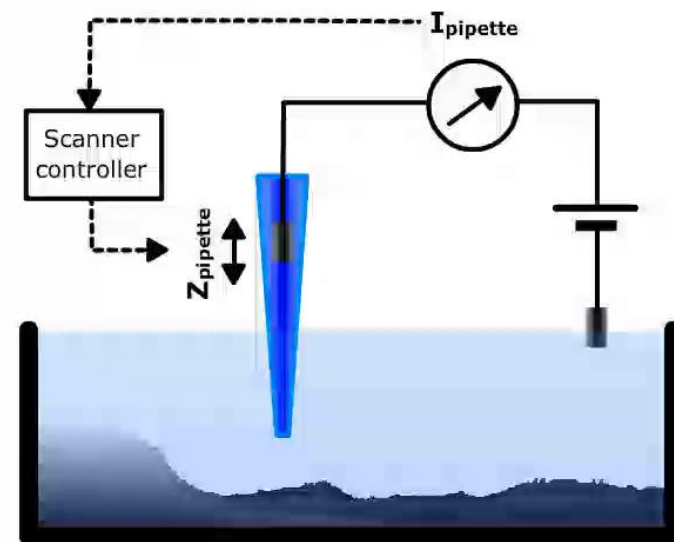
В 1989 году Хансма предложил Капиллярную микроскопия, а в 1996 профессор Юрий Корчев предложил «ХОППИНГ» моду, сделавшим капиллярную микроскопию востребованным методом исследования

Hansma P.K., Drake B., Marti O., Gould S.A.C., Prater C.B. The scanning ion-conductance microscope. Science. 1989; 243: 641-643



Korchev Y.E., Bashford C.L., Milovanovic M., Vodyanoy I., Lab M.J.

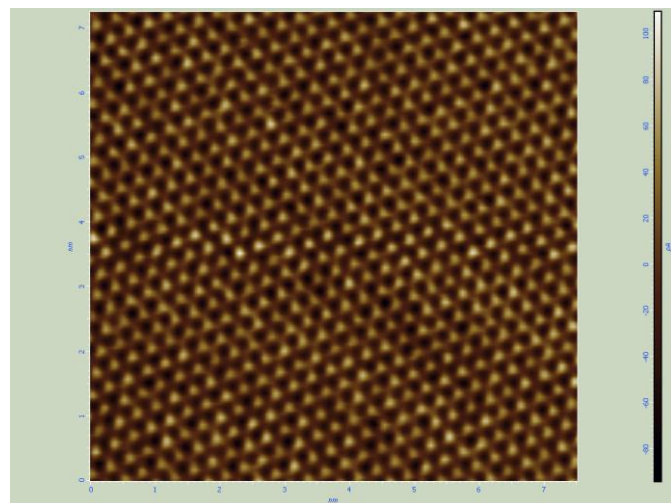
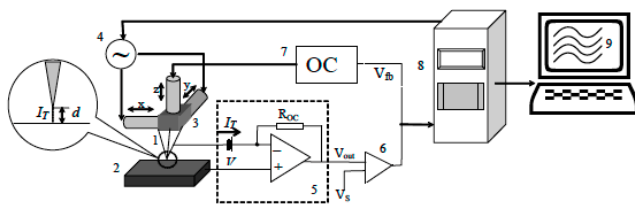
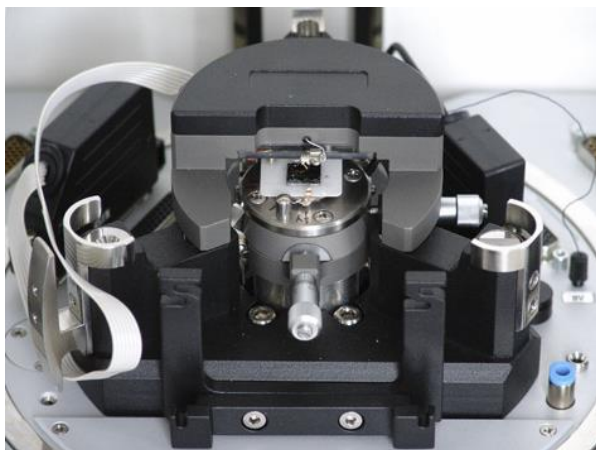
Scanning ion conductance microscopy of living cells. Biophys. J. 1997; 73: 653-658



Методы СЗМ

Сканирование с регистрацией электрического тока между зондом и образцом

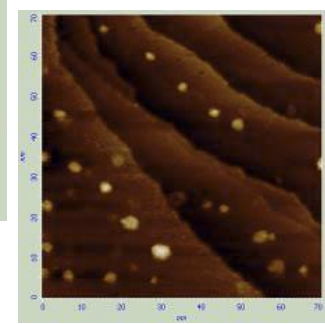
СТМ на воздухе



СТМ изображение поверхности HOPG



Поверхность Au(111)



СТМ в Электрохимической ячейке

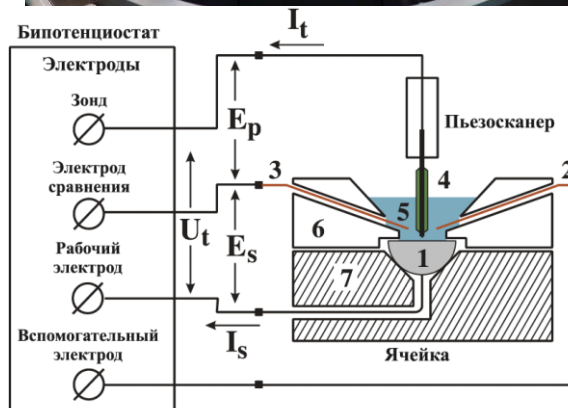
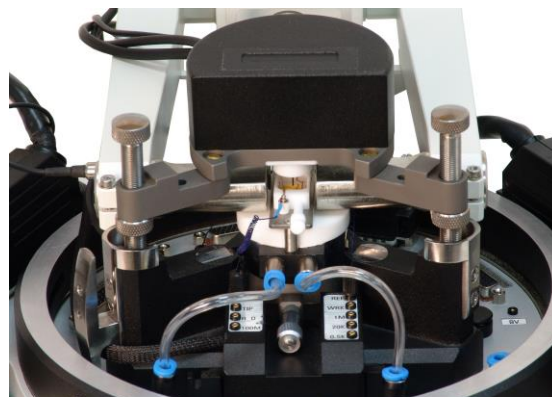
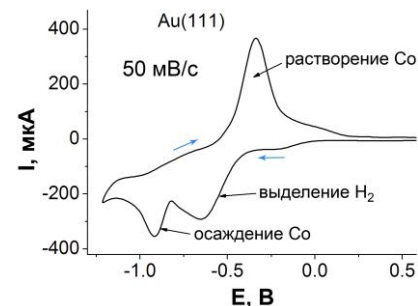


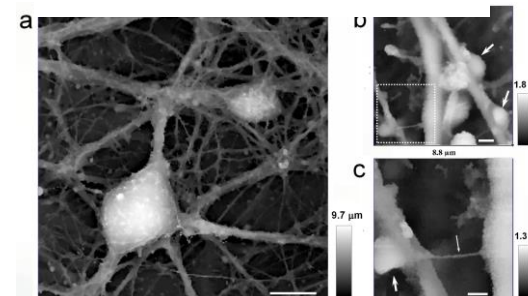
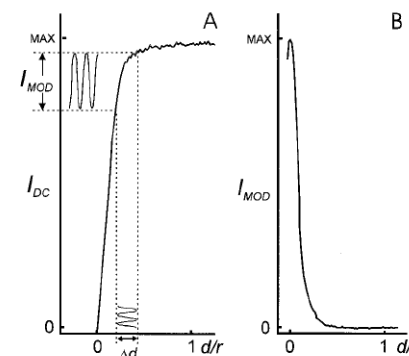
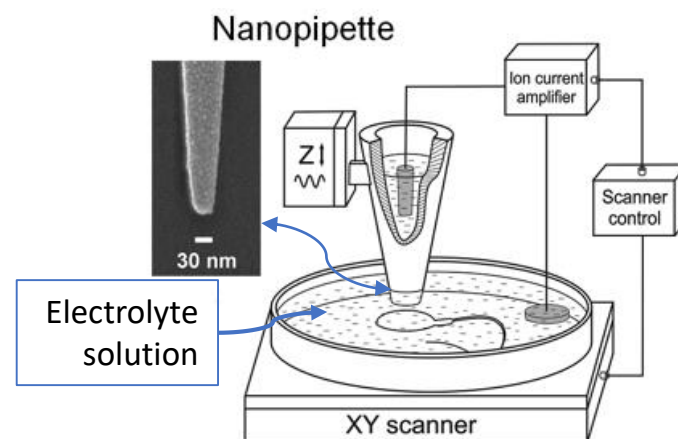
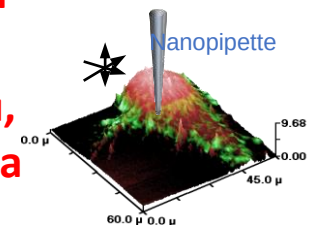
Рис. 1-9.

1 – образец, 2 – вспомогательный электрод, 3 – электрод сравнения, 4 – зонд, 5 – электролит, 6 – корпус, 7 – основание ячейки

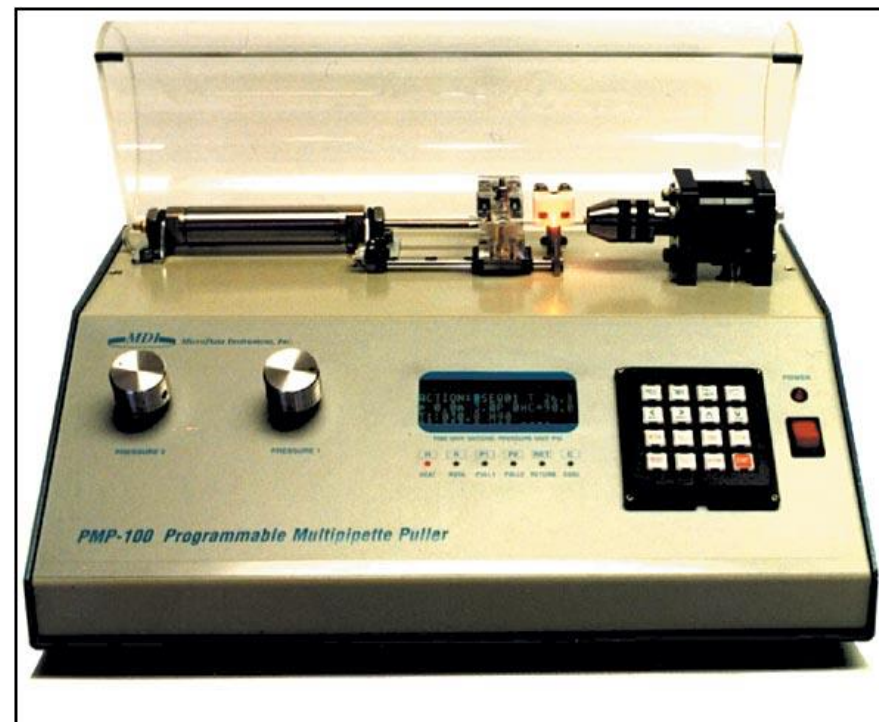
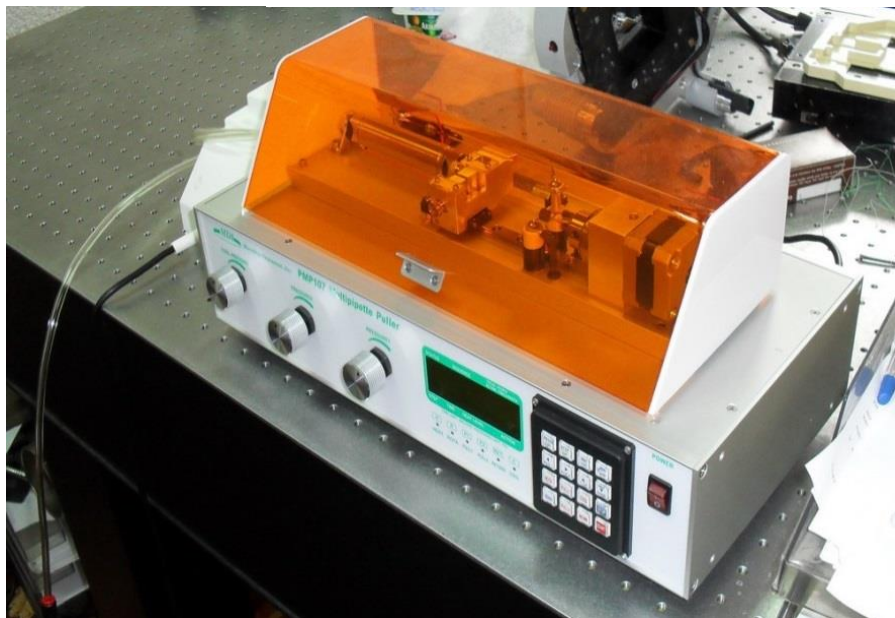


ЦВА Au(111) в растворе, содержащем 1 mM Co^{2+} .

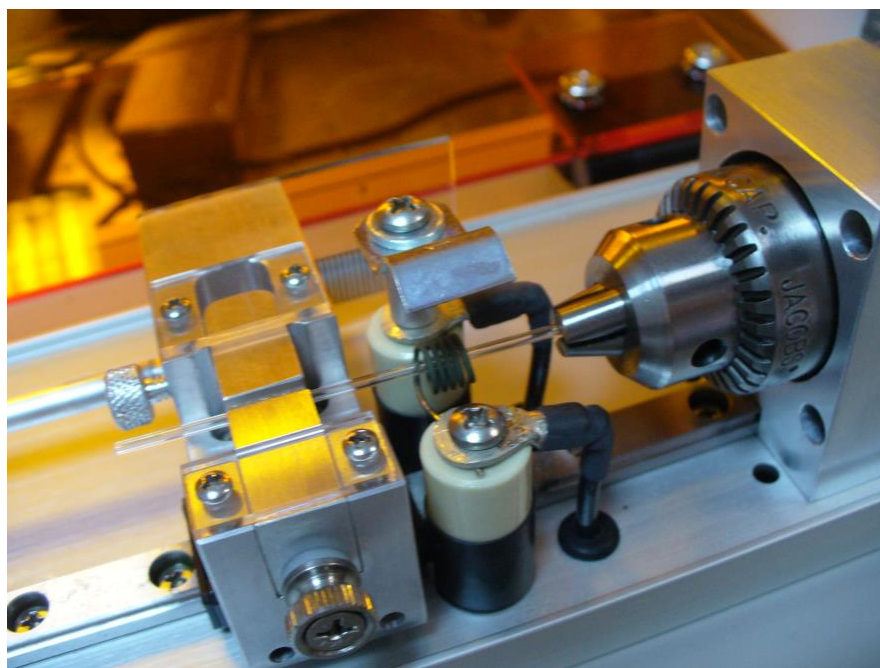
Капиллярная зондовая микроскопия, Хоппинг-мода



Изготовление микропипеток



PMP-107

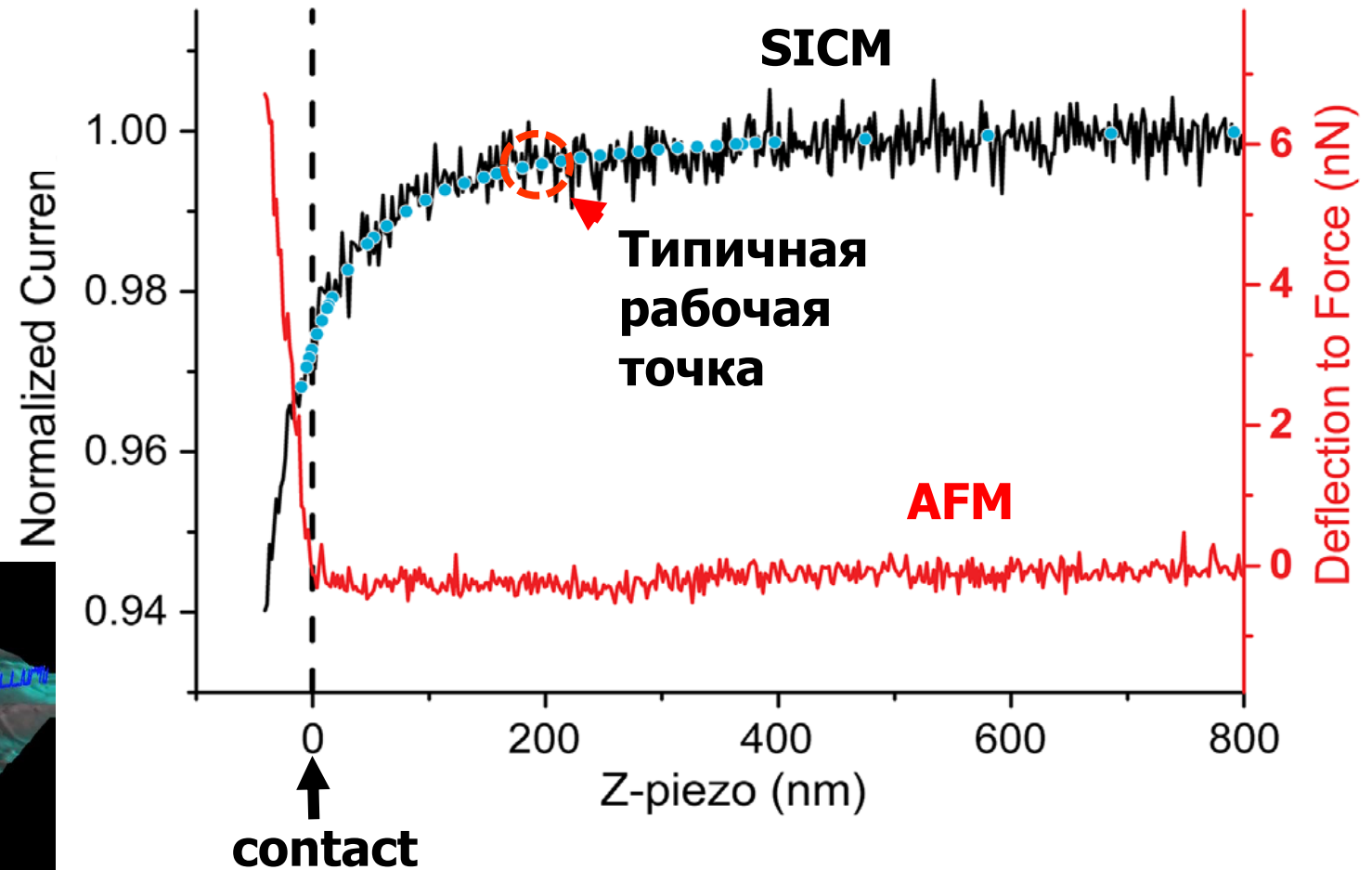
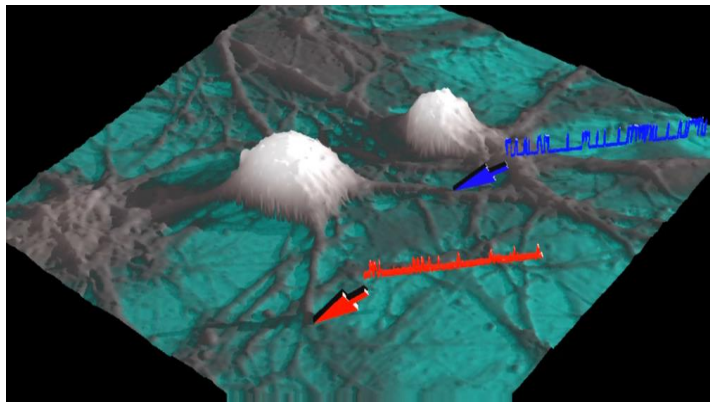
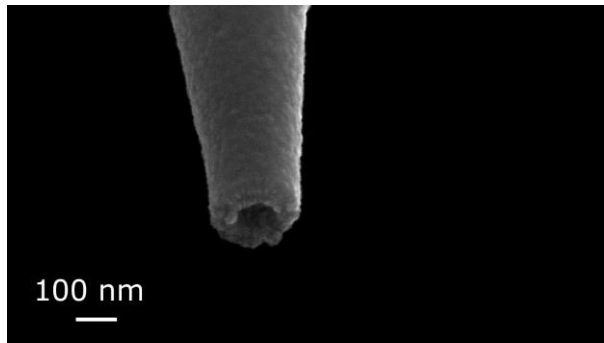
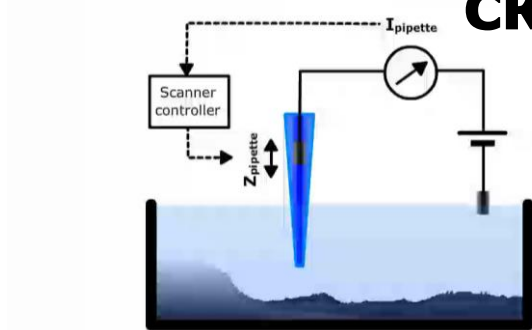


Используется пулер производства Warner Instruments

Микропипетки изготавливаются из боросиликатных стеклянных трубок

Размер кончика микропипеток варьируется от единиц до сотен нанометров

Капиллярная электрохимическая сканирующая микроскопия, "Hopping" - мода

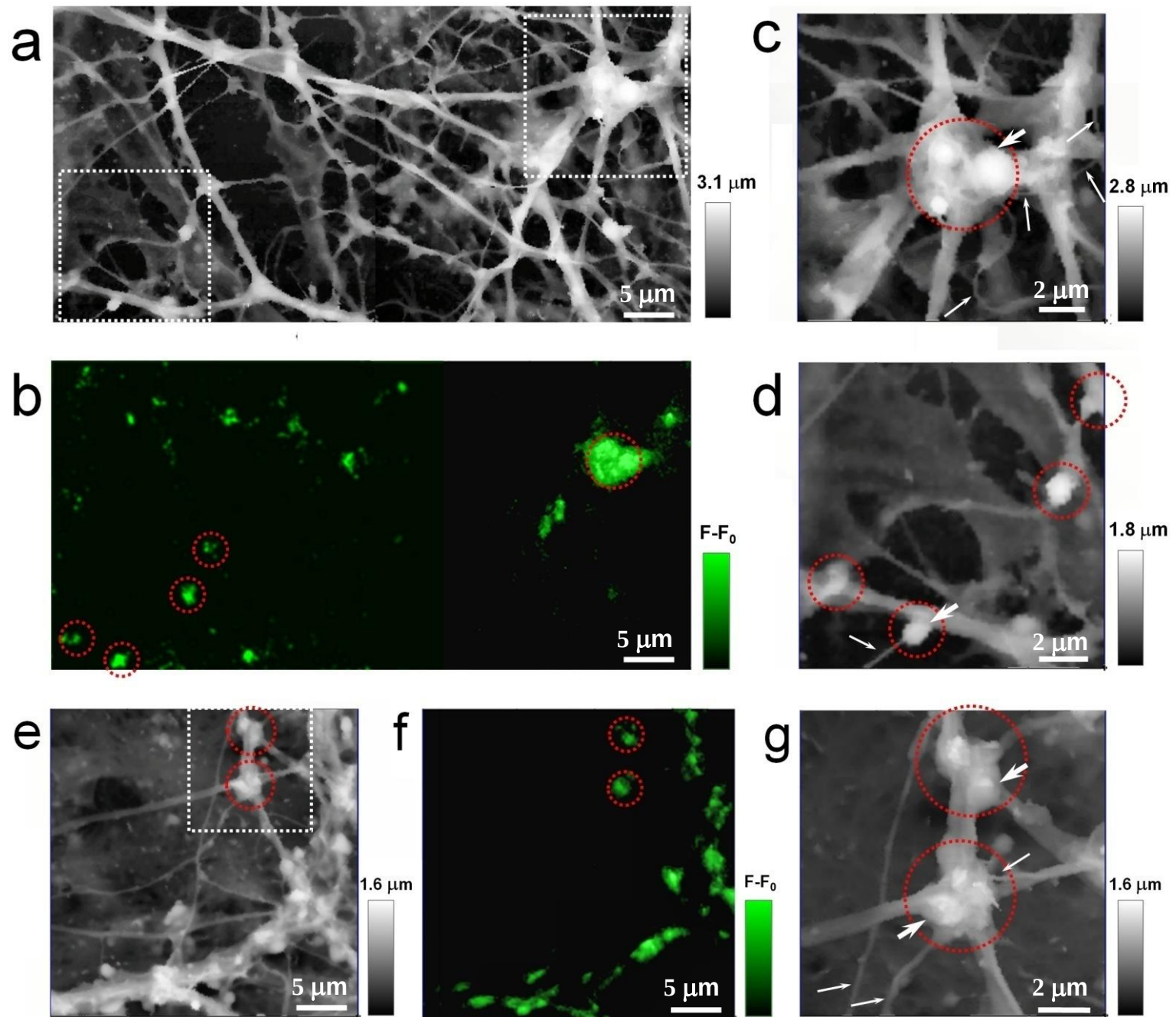


Измеряется ток между электродом в капилляре и электродом водном растворе

Ossola et al, Phys Rev Lett 115, 238103 (2015)

Yuri Korchey, Faculty of Medicine
Imperial College, ICAPPIC Co., London

Hippocampal Neurons

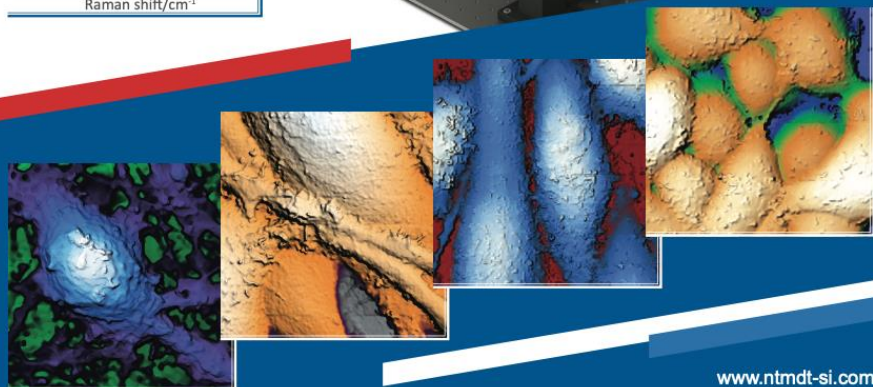
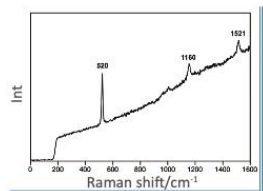




NTEGRA Marlin

Новейшая система
АСМ-Раман-СМИП
для биологических
и локальных
электрохимических
исследований

Проект реализуется
при содействии Фонда
содействия инновациям

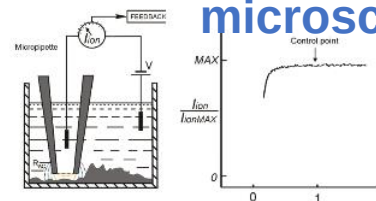


www.ntmdt-si.com

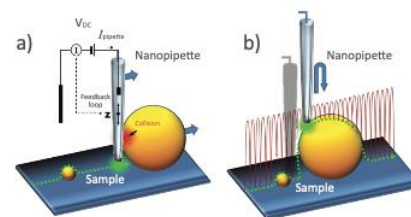
ИНТЕГРА Марлин – Новейшая система
АСМ-Раман-СМИП для биологических и локальных
электрохимических исследований

ИНТЕГРА Марлин – Новейшая система АСМ-Раман-СМИП для биологических и локальных электрохимических исследований

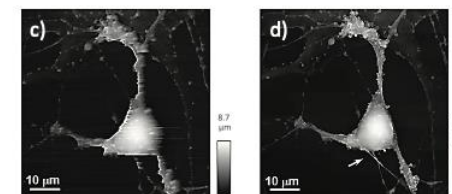
Принцип СМПИ (Hopping mode ion conductance microscopy)



СМИП (сканирующая ионно-проводящая микроскопия) – это метод СЗМ, который использует нанопипетку (острый стеклянный электрод) для бесконтактного трехмерного картирования поверхности с высоким разрешением. В СМПИ расстояние между зондом и образцом контролируется уменьшением ионного тока, протекающего через наконечник по мере приближения к поверхности образца. Biophys.Journ. 73, 653-658



Непрерывные и «скачковые» СМПИ изображения нейронной клетки с сильно развитым рельефом. (а) Рисунок сканирующего зонда с нанопипеткой, работающего в режиме непрерывного сканирования, сталкивающегося со сферическим объектом, имеющим крутой вертикальный наклон. (б) Рисунок «скачкового» режима, используемого в СМПИ, показывающий, как пипетка отводится в положение значительно выше образца перед приближением к поверхности. (с, d) Изображения

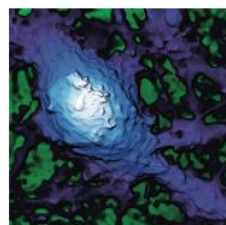


одного и того же фиксированного нейрона гиппокампа, полученного сначала в «скачковом» режиме (d) и затем в режиме растрового сканирования слева направо (с), используя ту же нанопипетку. Скачковый алгоритм, применяемый к СМПИ, позволяет отображать неровные и слабозакрепленные объекты с высоким разрешением, благодаря тому, что зонд-пипетка всегда приближается к образцу сверху, а не «тащит» его по поверхности. Nature Meth. 6, 279-281

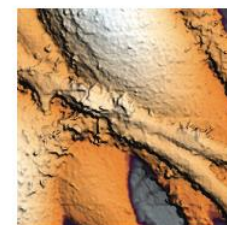
СМИП визуализация живых клеток

Бесконтактный скачковый алгоритм СМПИ позволяет проводить быстрые и стабильные измерения мягких и сильно «гофрированных» объектов с высоким разрешением, таких как живые клетки, в естественной физиологической среде.

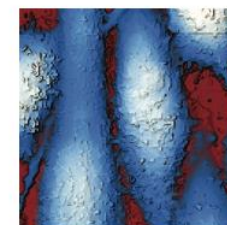
Поскольку метод сканирования гарантирует, что зонд всегда приближается к образцу в вертикальном направлении, становится возможным визуализировать даже те объекты, которые «подвешены» в пространстве.



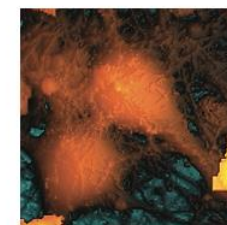
СМПИ-изображение нейрона из мышечного гиппокампа 10×10×6,3 мкм



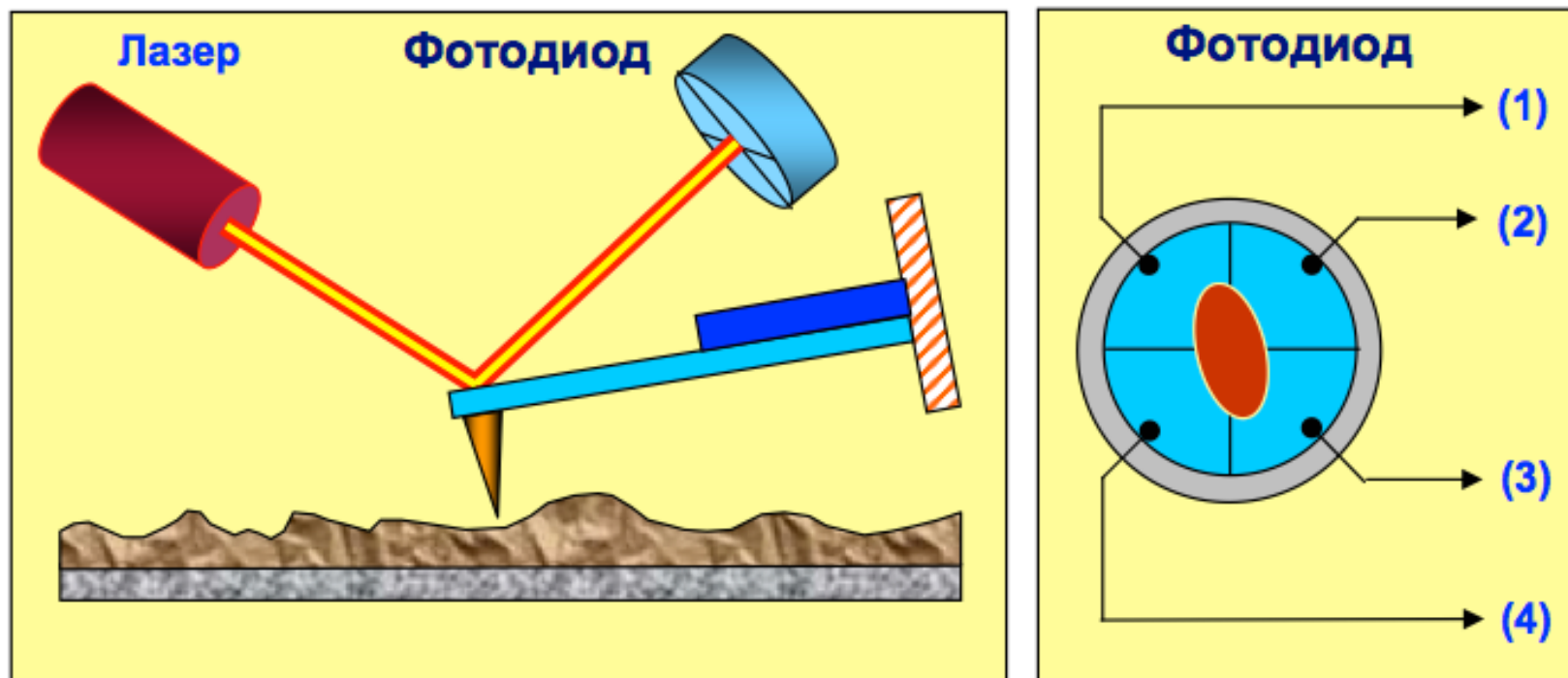
СМПИ-изображение клеток меланомы B16 25×25×5,4 мкм



СМПИ-изображение клеток карциномы РС3 предстательной железы человека 40×40×6,8 мкм



СМПИ-изображение живого нейрона из гиппокампа мыши 40×40×13,3 мкм



Meyer G., Amer N.M. Erratum: novel optical approach to atomic force microscopy// Appl. Phys. Lett. 53 (24), 2400-2402, (1988)

The first AFM



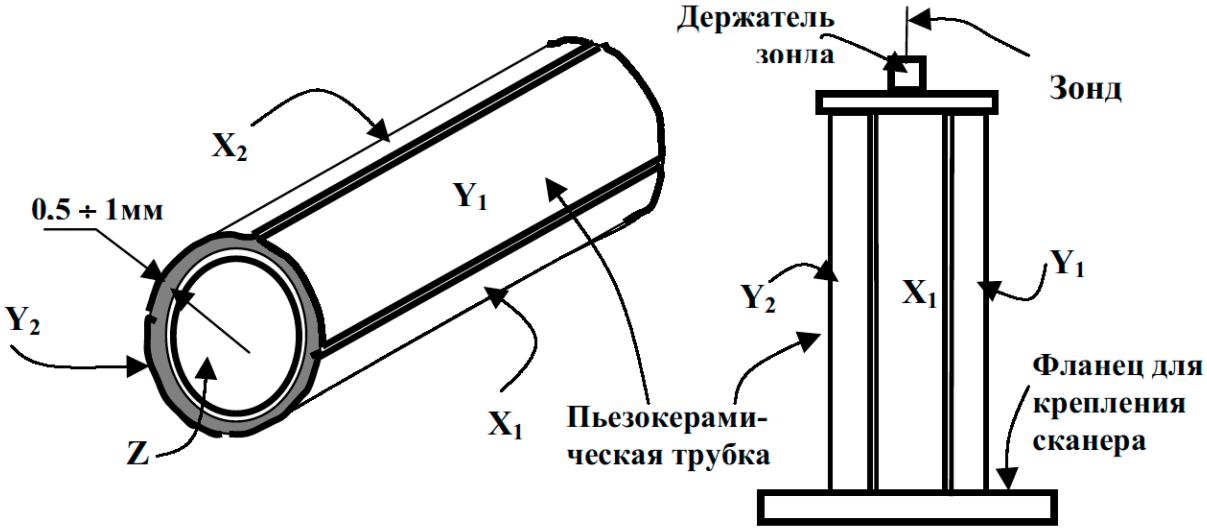
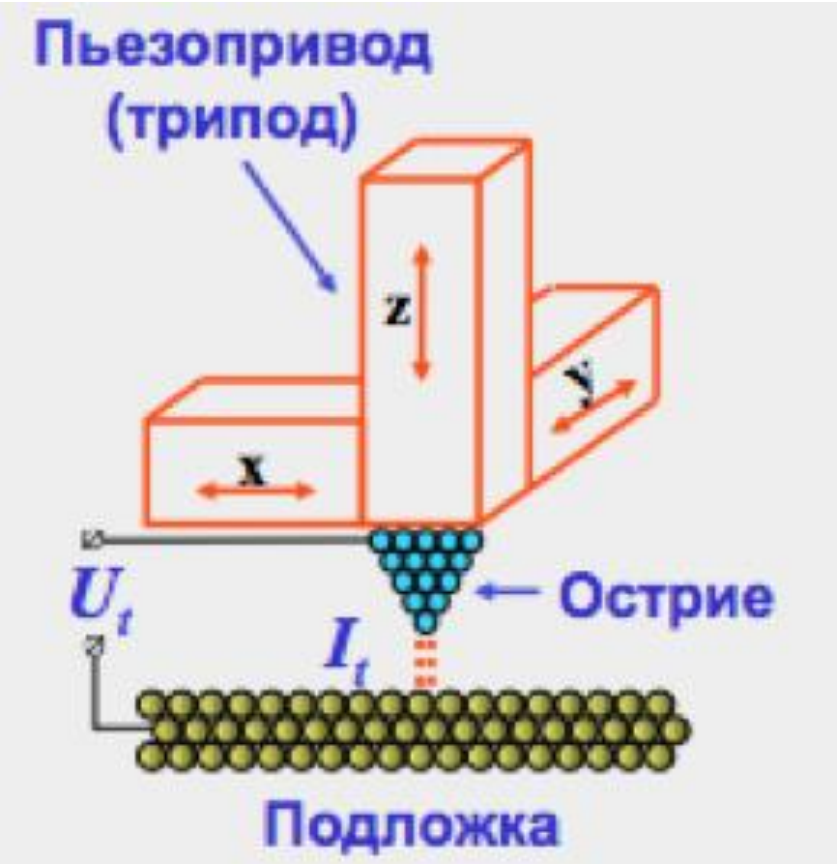
G. Binnig, Ch. Gerber and C.F. Quate, Phys.
Rev. Lett. 56, 930 (1986)



Первый АСМ НТ-МДТ, SOLVER P4,
1994 год



Малые перемещения можно делать используя пьезоэлектрическую керамику, не имеющую принципиальных ограничений на минимальные изменения размеров при приложении потенциала





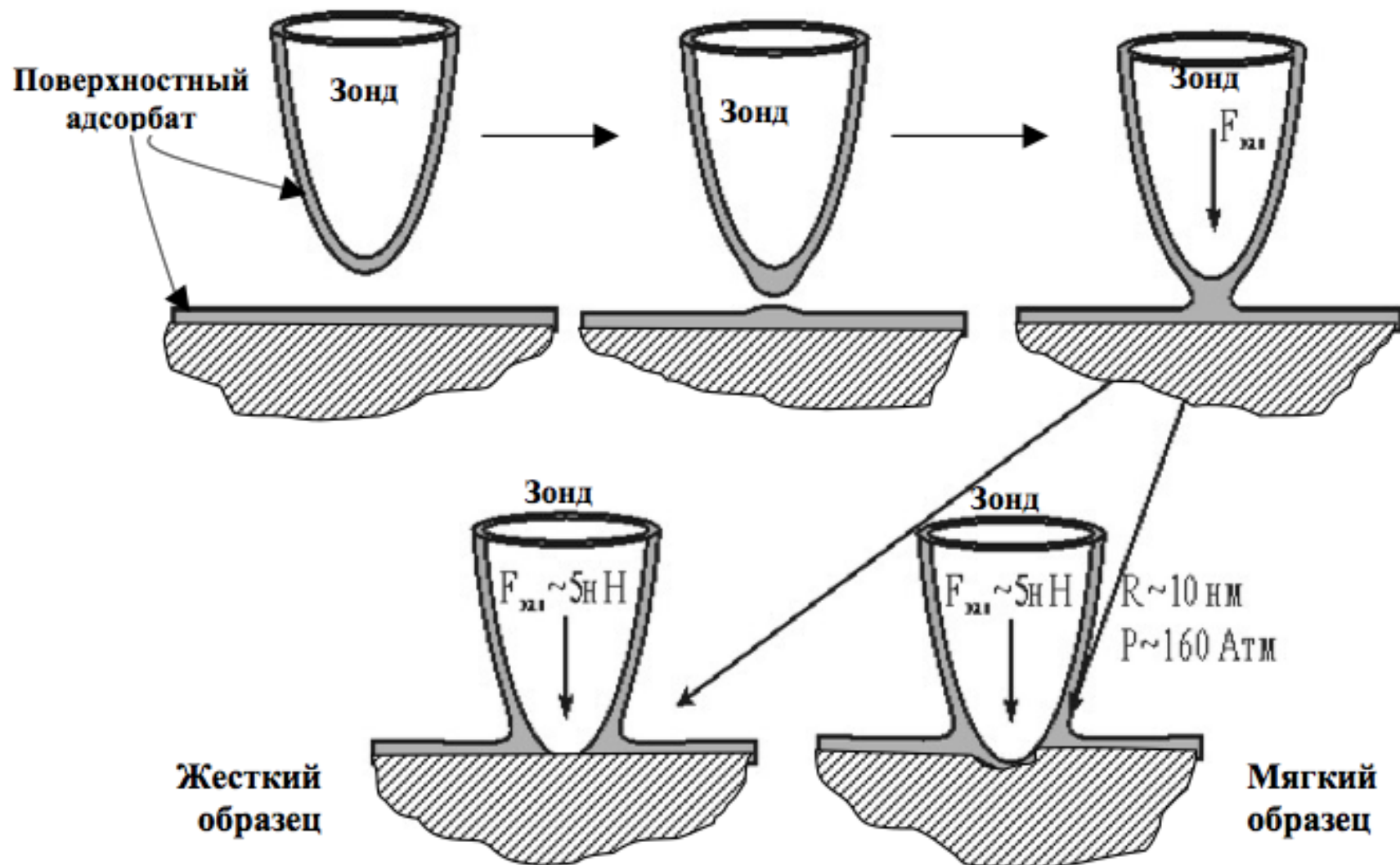
В Компании Digital Instruments
В. Быков, Верджил Эллинс (президент DI)
и Сергей Магонов, 1998 год, California, Santa
Barbara, DI office

В 1989 году Христов Гербер предложил работать
вибрирующим на резонансной частоте зондом, а в
1993 Верджил Эллинс, компания Digital
Instruments, CA, USA, оснастил ей NANOSCOPE-3 -
TAPPING MODE, что резко сделало АСМ по
настоящему востребованными приборами



Христов Гербер Швейцария, Цюрих,
IMM – STM/AFM





Полуконтактные моды СЗМ сильно (на 3 порядка) снижают давление иглы на объект и дают возможность проводить неразрушающие исследования (предложены инженером компании IBM Кристофом Гербером)

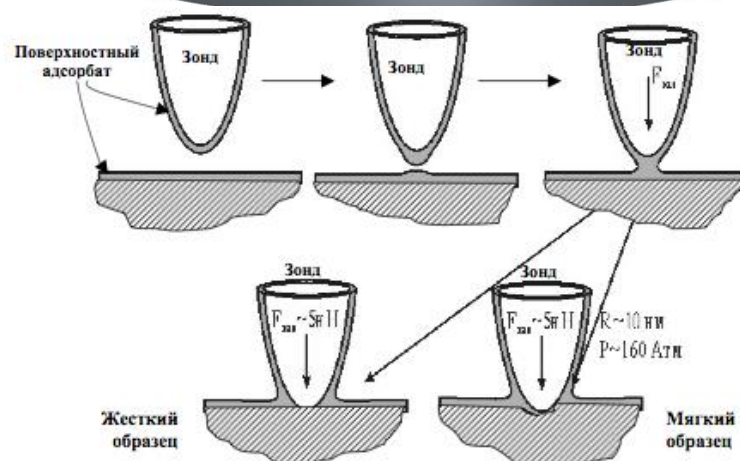
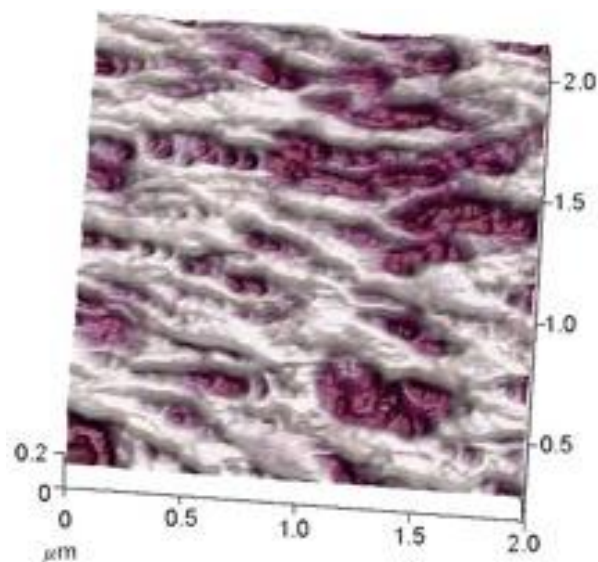
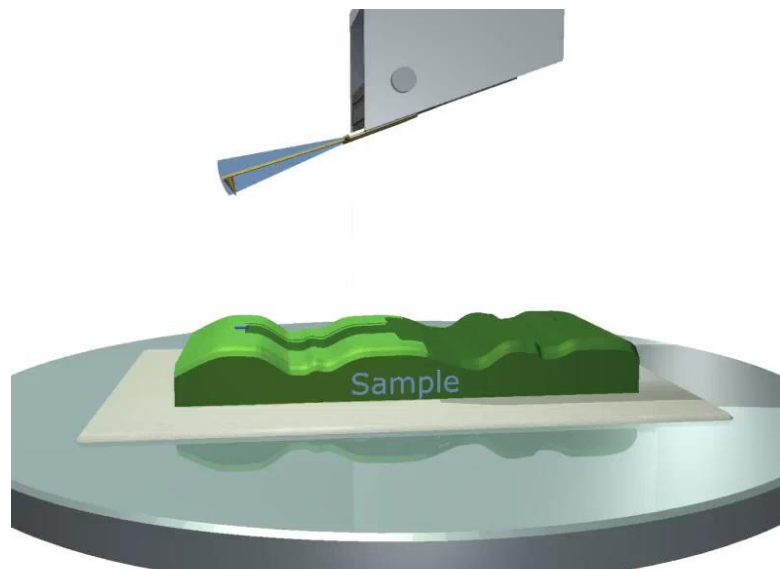
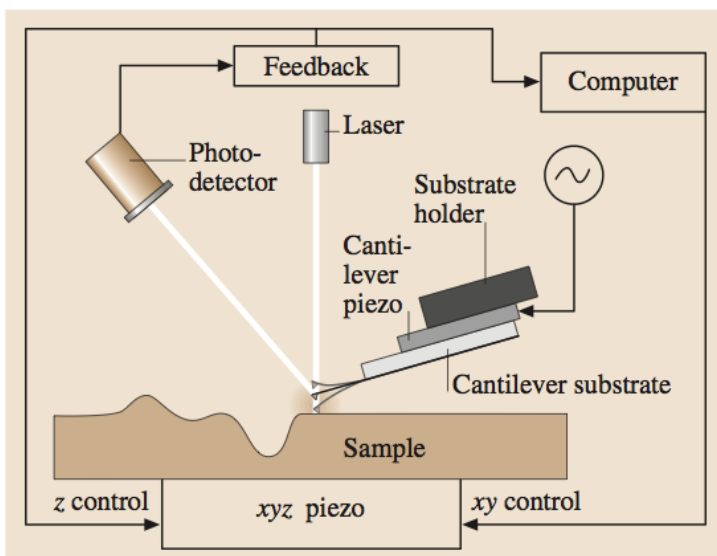
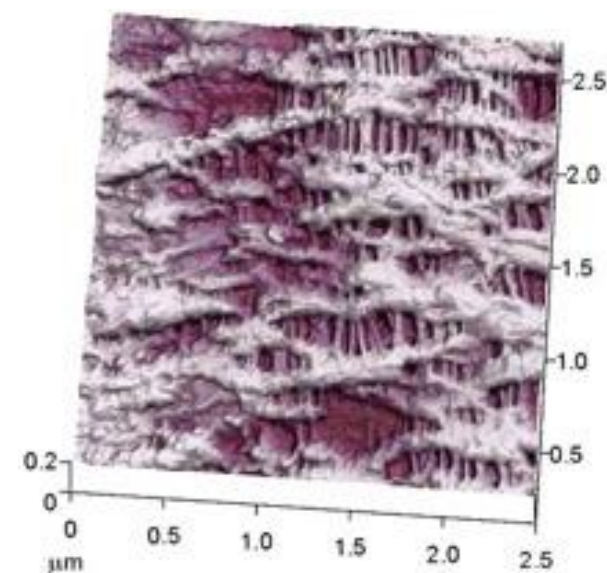


Рис.1.20. схематическое изображение процесса подвода зонда и образца в присутствии подвижного (текучего) поверхностного адсорбата

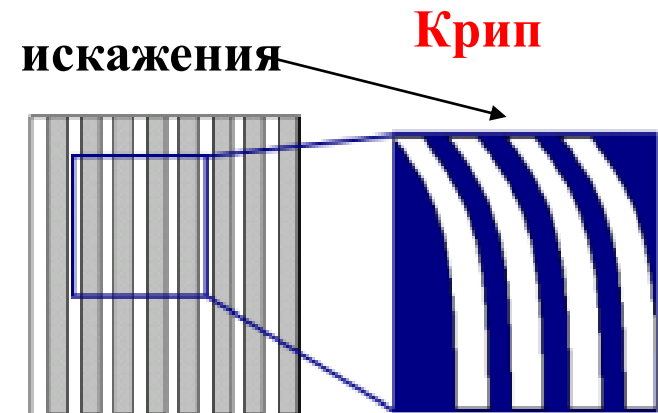
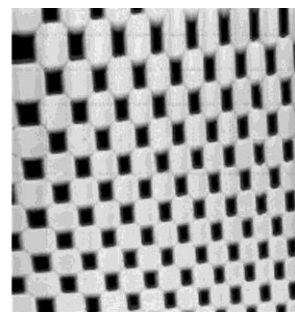
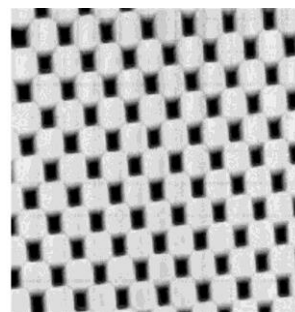
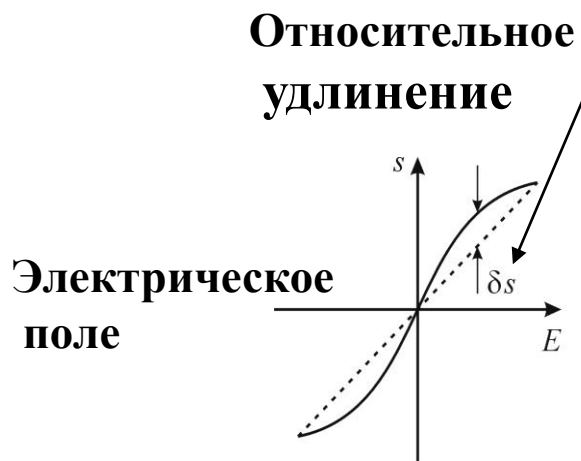




На конференции в Швейцарии, июнь 2016 год

На конференции в Швейцарии, июнь 2016 год

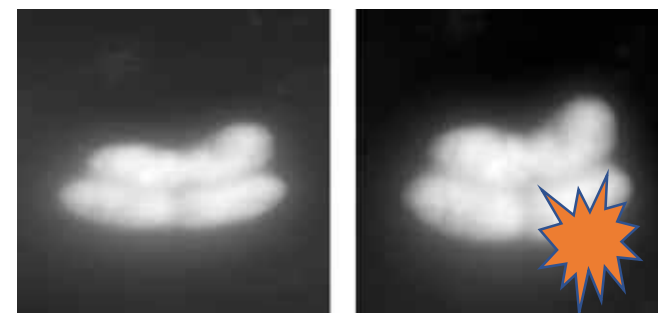
Собственная нелинейность сканера



В плоскости XY крип проявляется при перемещении или масштабировании области сканирования.

В плоскости XY собственная нелинейность проявляется в неравномерности шага сканирования. В Z направлении собственная нелинейность будет приводить к погрешностям при измерении высоты микрорельефа поверхности.

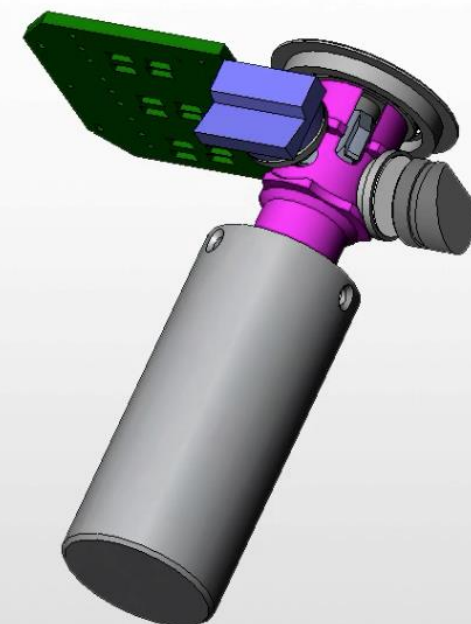
Термический дрейф компонентов АСМ



<http://afmhelp.com/>

Искажение АСМ-изображения бактерии из-за дрейфа

Сканеры с низко шумящими емкостными датчиками

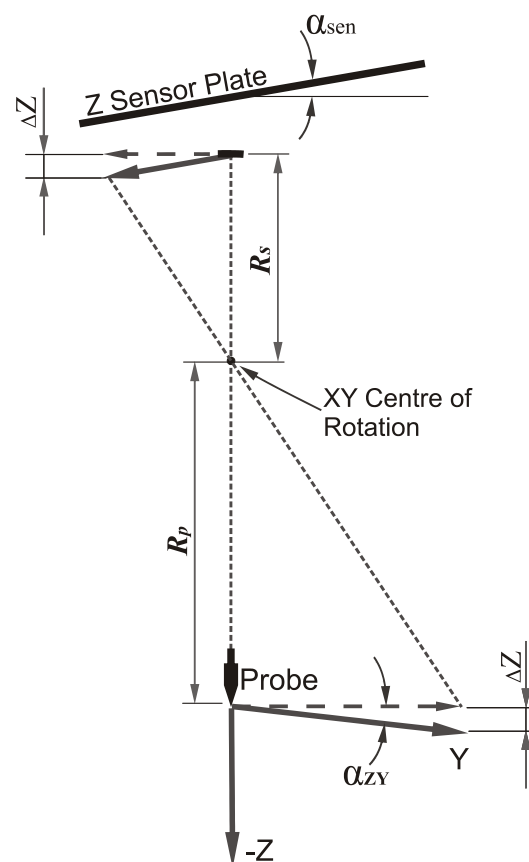
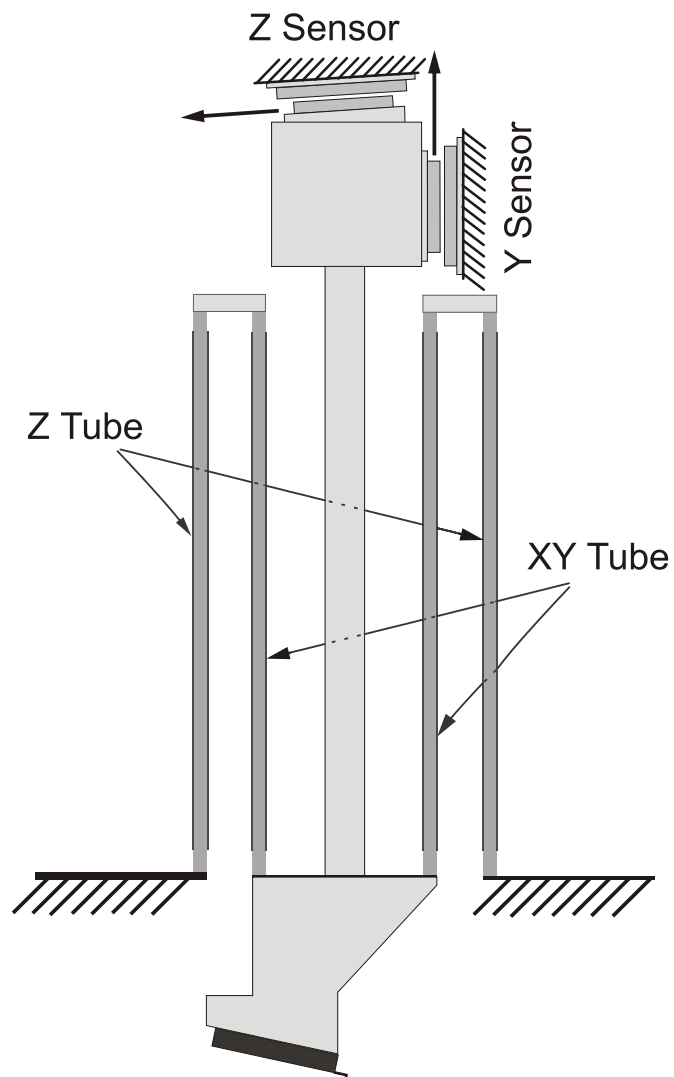


Сканирование образцом

Сканирование зондом

Нелинейность, XY (с датчиками обратной связи)		$\leq 0.1\%$	$\leq 0.15\%$
Уровень шума, Z (СКВ в полосе 1000 Гц)	С датчиками	0.04 нм (типично), 0.06 нм	0.06 нм (типично), 0.07 нм
	Без датчиков	0.03 нм	0.05 нм

Конструкция 3D сканера с емкостными датчиками



Токовая нанолитография, СЗМ Интегра-Прима



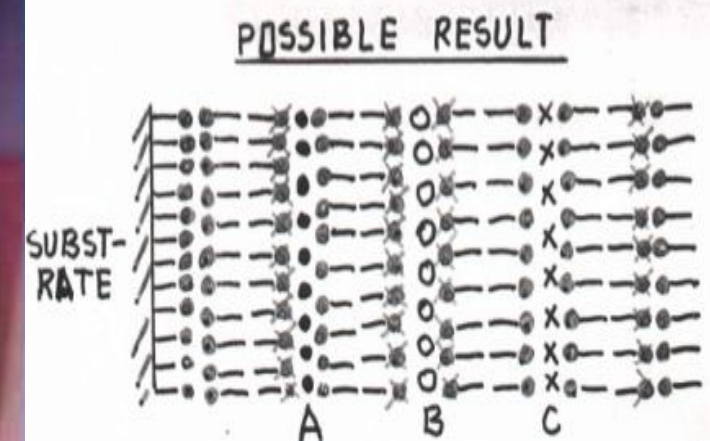
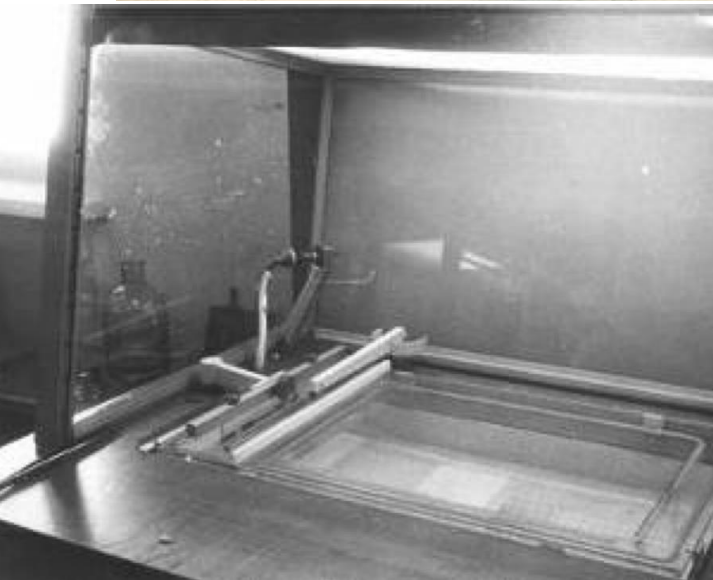
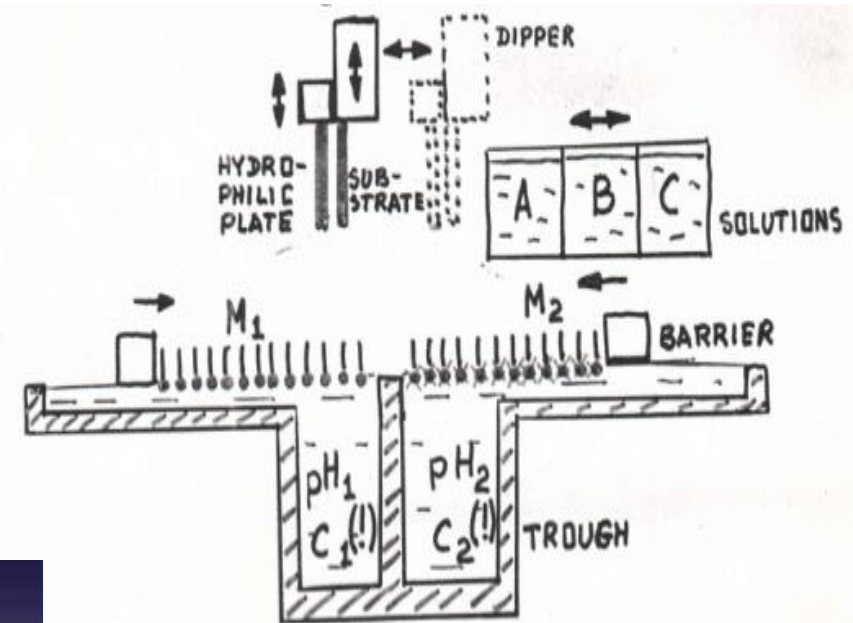
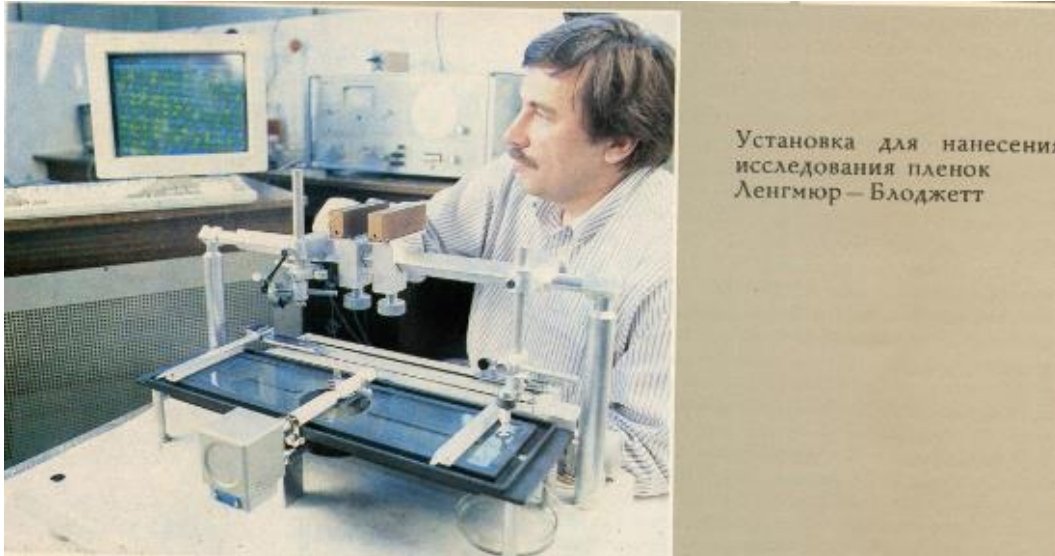
Датчики отключены, размер
скана 1,9x1,9 мкм



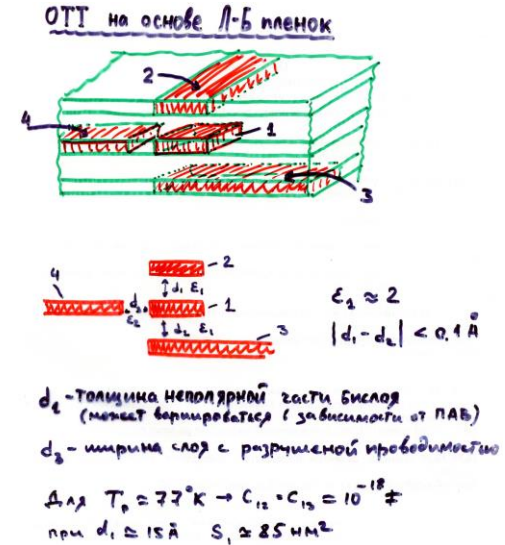
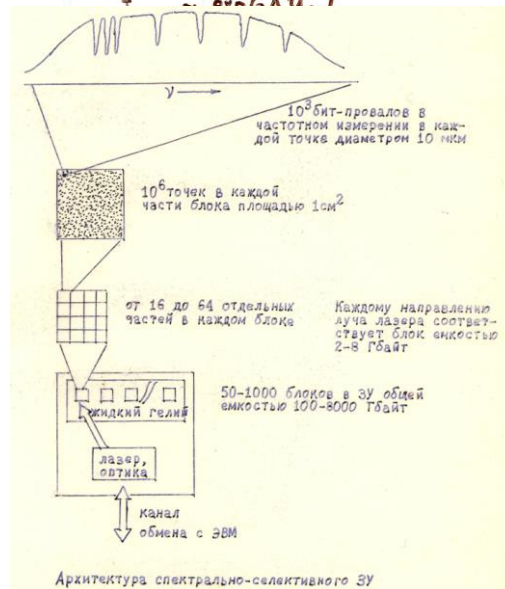
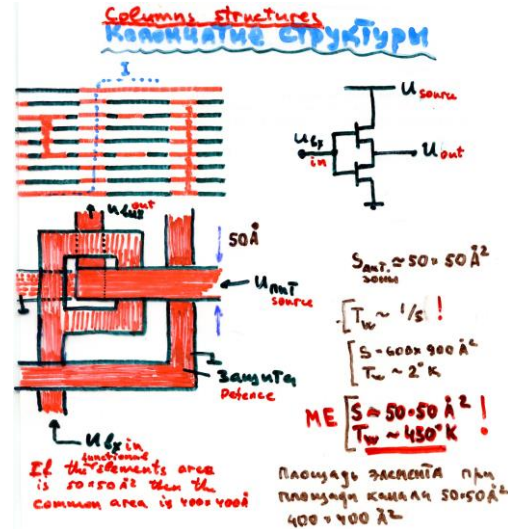
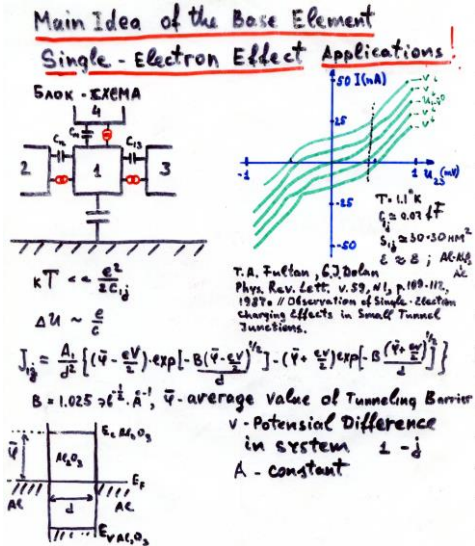
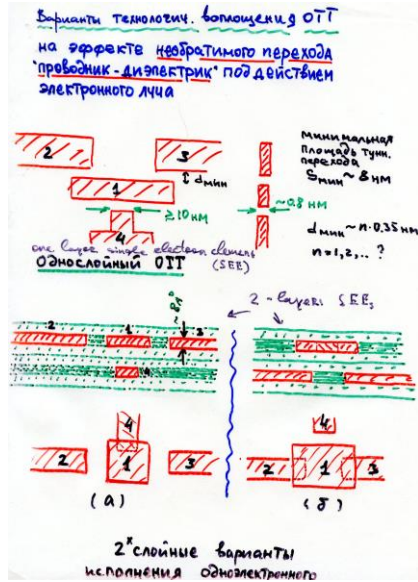
Датчики включены, размер
скана 1,9x1,9 мкм

1973 - 1997 годы: Предполагалось, что пленки и технология Ленгмюра-Блоджетт могут быть основой молекулярной электроники.

Предполагалось, что ЛБ-технология – это способ формирования заданных структур.
Так ли это?



Молекулярная нанотехнология (с 1988 года)



РАЗРАБОТКА МАКЕТА МАТРИЧНОГО РЕПРОГРАММИРУЕ-
МОГО КОММУТАТОРА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ОБРАТНОГО
НАКОПЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ МЕТАЛЛ-ЛБ-ПЛЕНКА-ПОЛУПР-
ОВОДНИК.

Цель - в создании макета матричного репрограммируемого
коммутатора, использу в качестве рабочей среды
систему металл-ЛБ-пленка-полупроводник.

(стоимость - 340 т. (1990 - 1991))

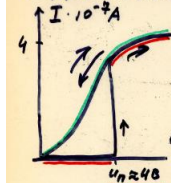
контакты - НИОПЧК

основные результаты:

сейчас

к концу тем I

1. эффект переключения

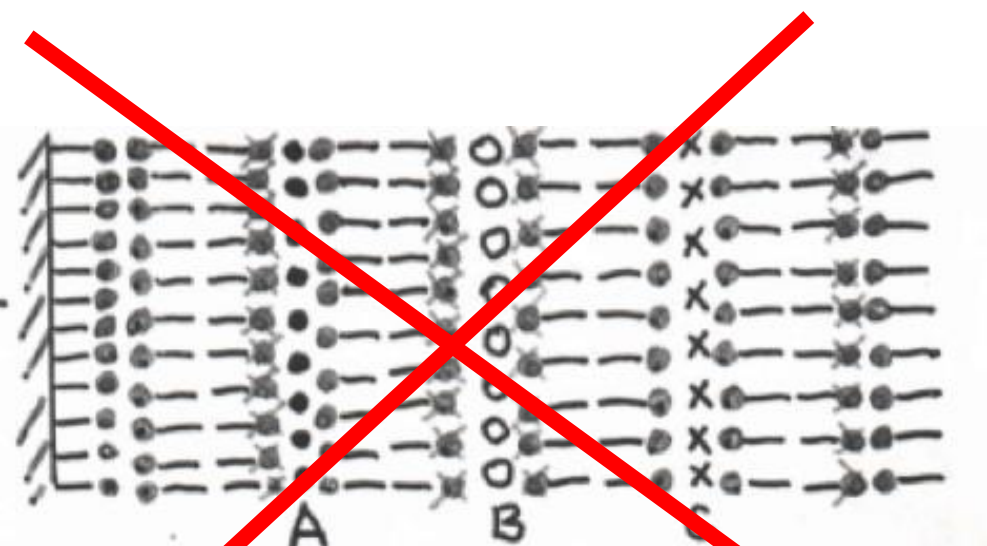


2. разработана техноло-
гия макета комму-
татора.

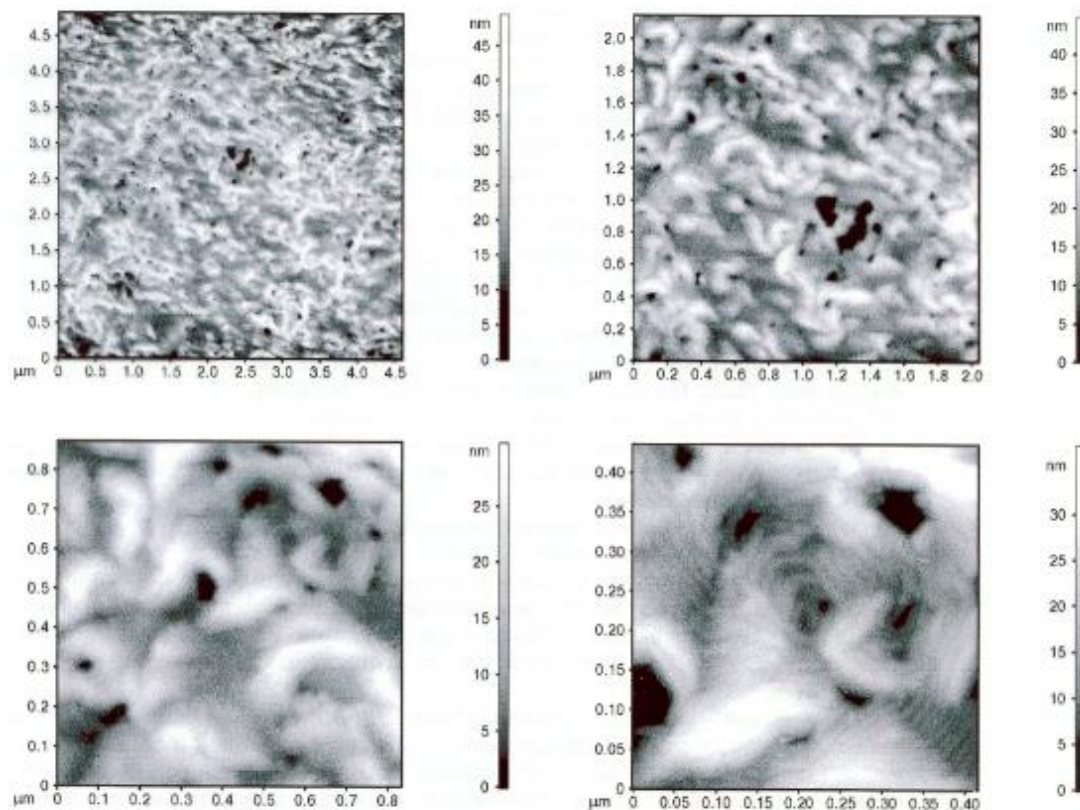
макет коммутатора:

число элементов - 10×10
размер элемента - $10 \div 100 \text{ нм}$
число циклов пере-
записи - > 10
напряж. стирания - $-1 \div -10 \text{ В}$
напряж. записи - $+2 \div +10 \text{ В}$
число циклов
считывания - $10^6 \div 10^8$
проводимость:
в неконм. состоян - $10 \div 10^{-8} \text{ Ом}$
в конм. состоян - $10 \div 10^{-8} \text{ Ом}$

АСМ исследования открыли глаза на строение ЛБ-пленок, как значительно более сложный объект, чем о них думали и без методов АСМ разработка функциональных систем на их основе невозможна



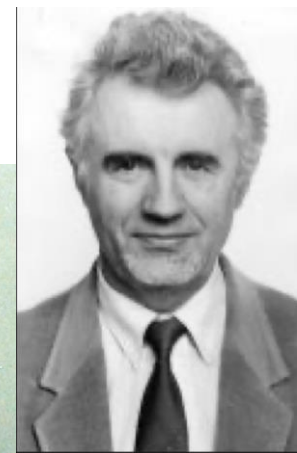
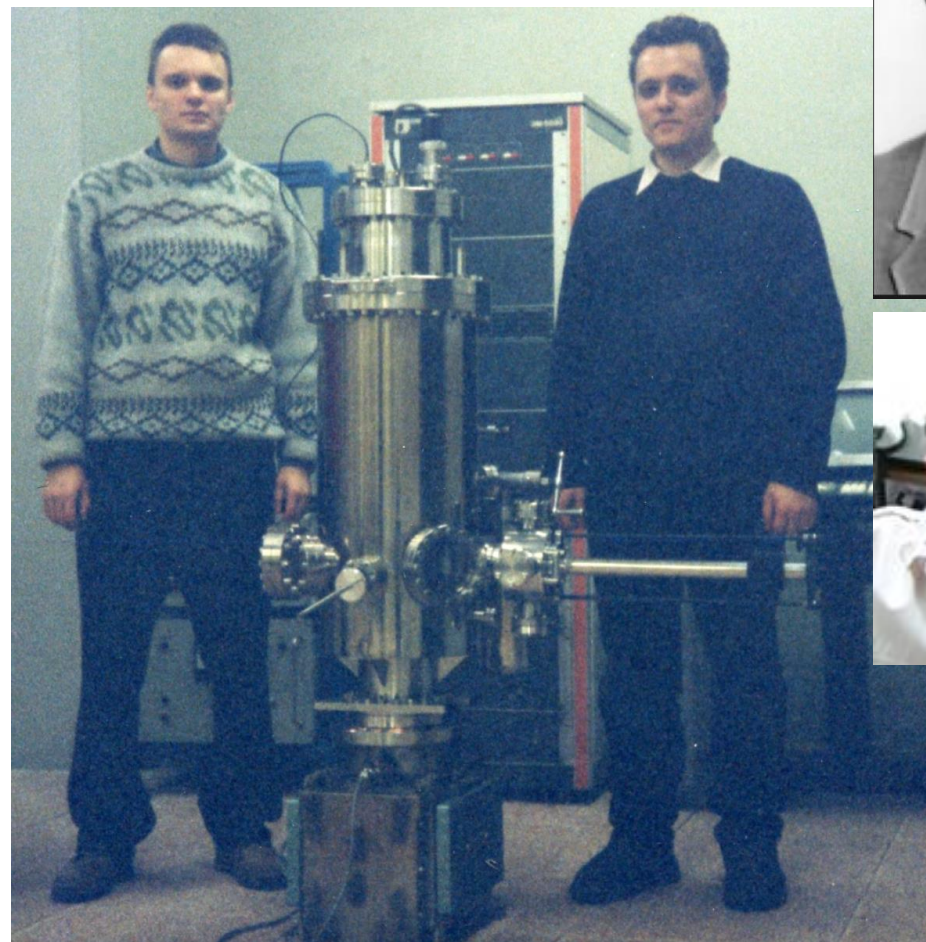
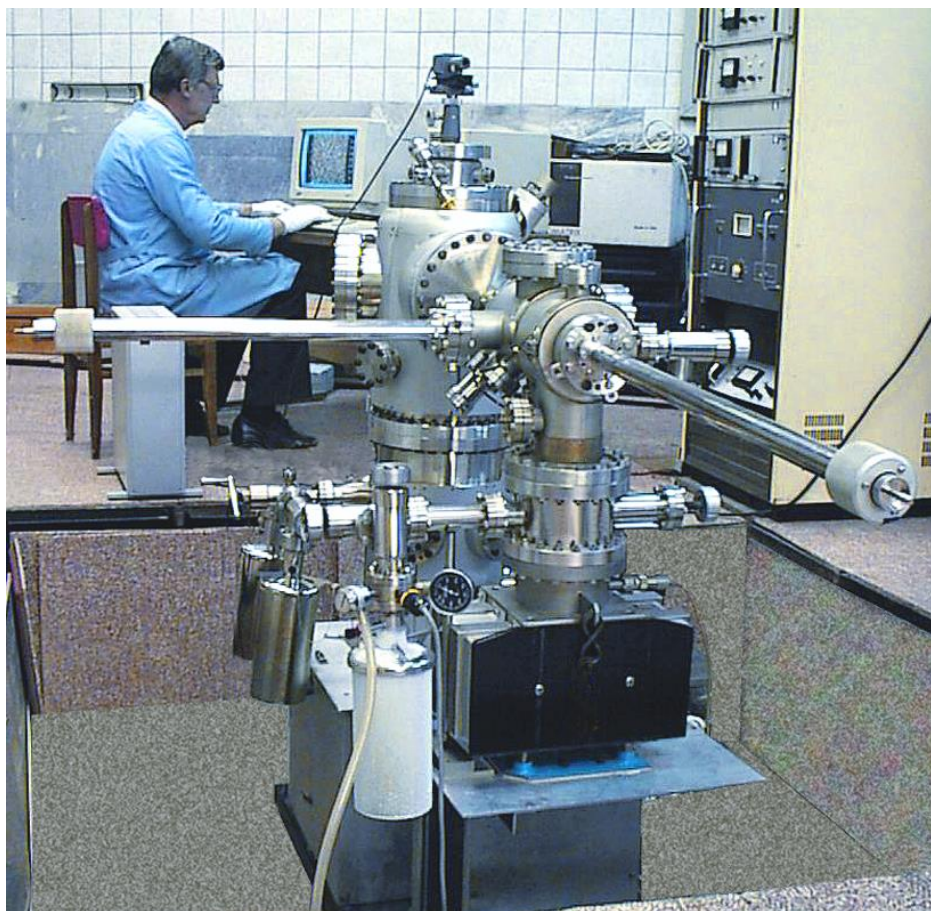
Модель структуры ЛБ-пленок, жившая в умах более 50 лет не верна!!!



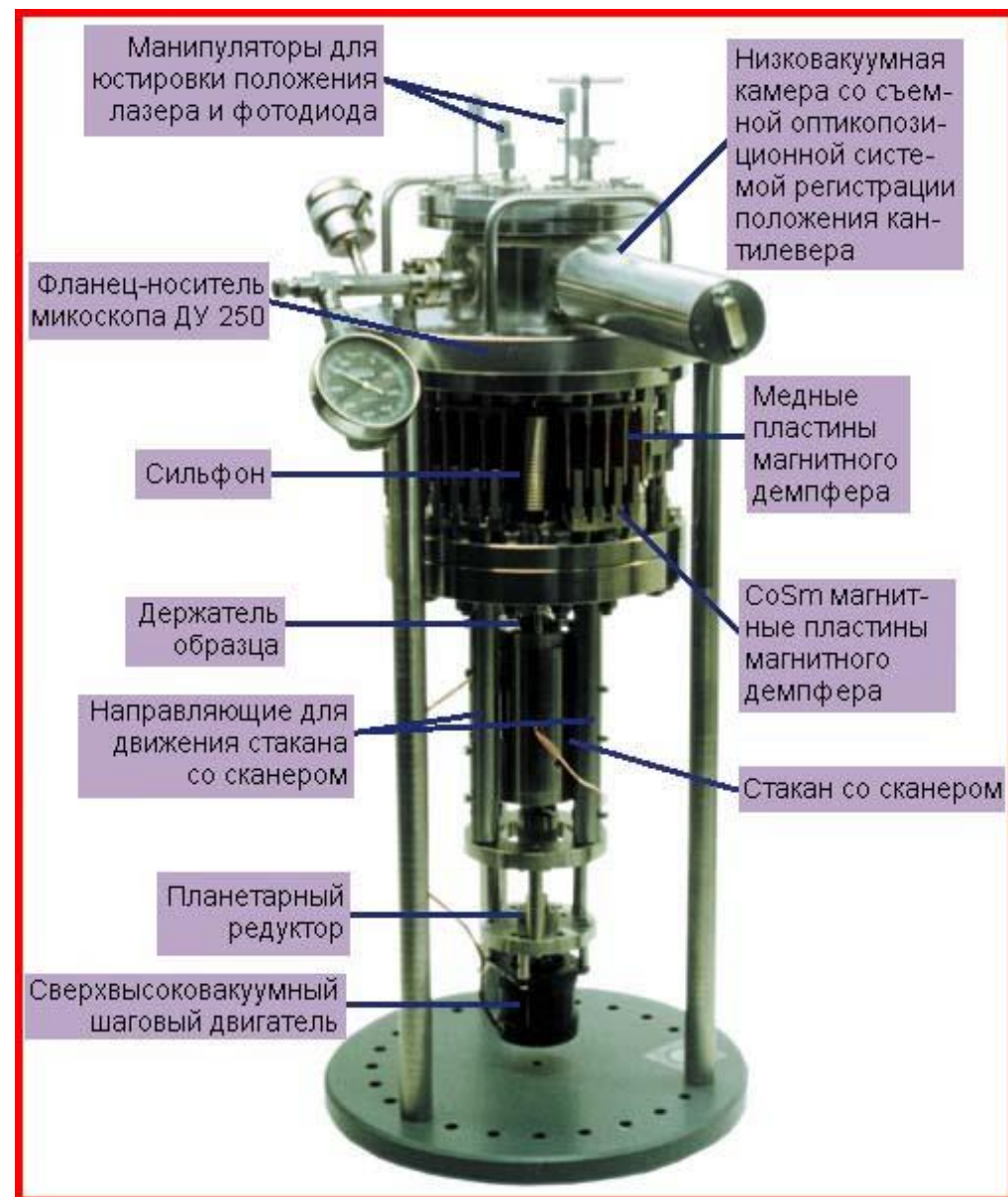
На СЗМ Солвер-Р47 было показано, что атомно-силовое изображение ЛБ-пленок арахидата кадмия не имеет никакого отношения к модельным представлениям о структуре ЛБ-пленок доменные структуры

Проект 1996-1998 годов, МИННАУКА – НТ-МДТ + ИФТТ,
Черноголовка (Витас Антонович Гражулис, Сергей Божко)

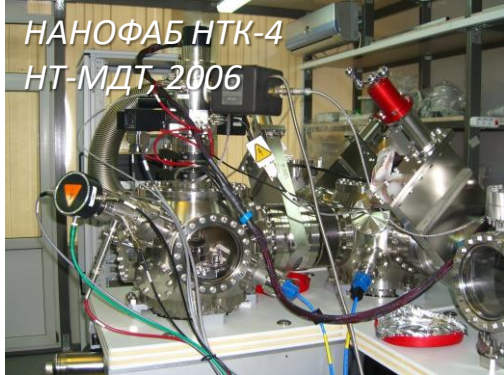
Разработка сверхвысоковакуумных атомно силового и низкотемпературного туннельного микроскопов



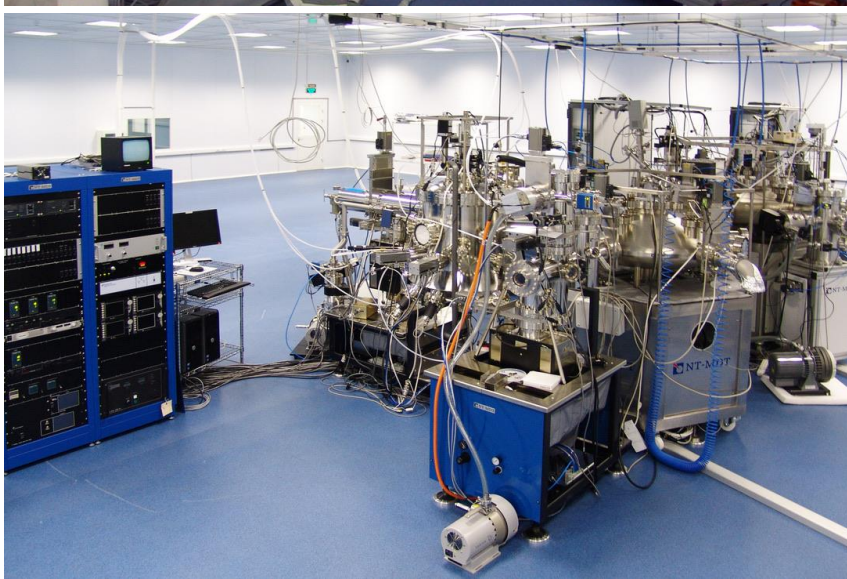
Сверхвысоковакуумный двухкамерный нанотехнологический комплекс на базе СЗМ СОЛВЕР-UHV на интервал температур 90К-500К. Разработка НТ-МДТ, 1997-1998г.г.



НАНОФАБ НТК-4
НТ-МДТ, 2006



НАНОФАБЫ



«Нанотехнологии»
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НАНОФАБ НТК-9
(ЗАО «Нанотехнологии МДТ» г. Зеленоград)



Комплекс НАНОФАБ-3 в Киевском политехническом институте

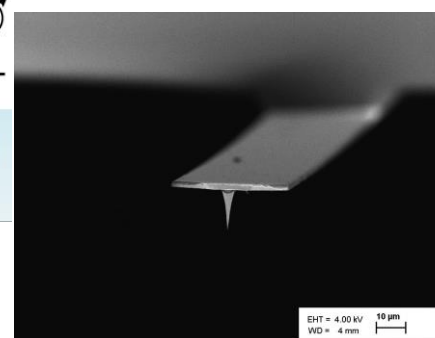
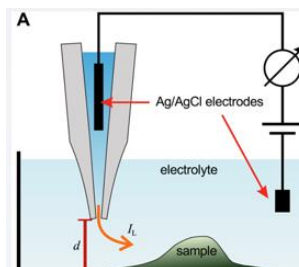
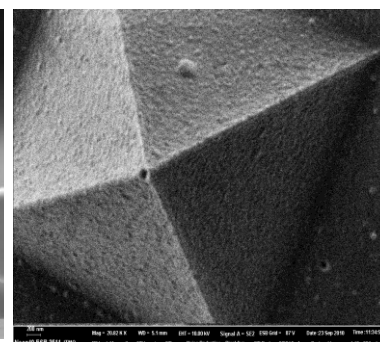
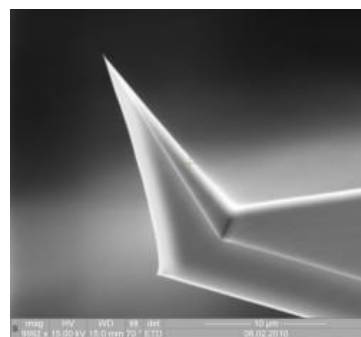
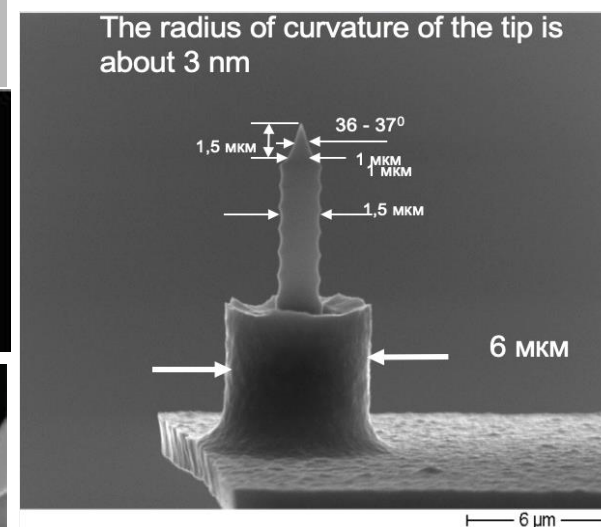
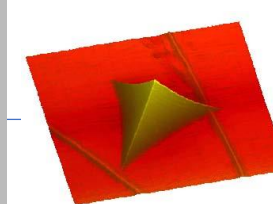
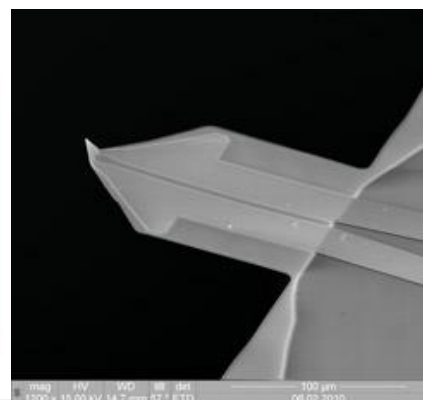
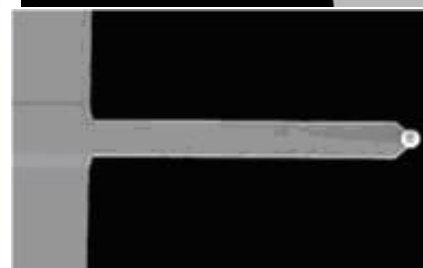
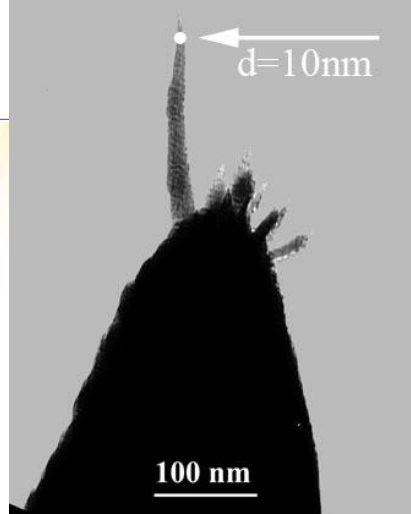
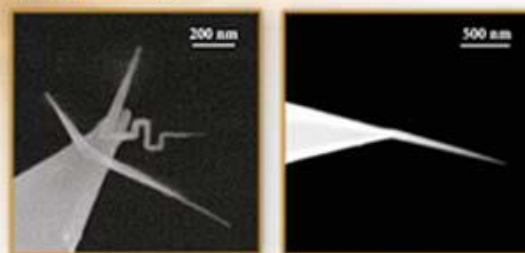
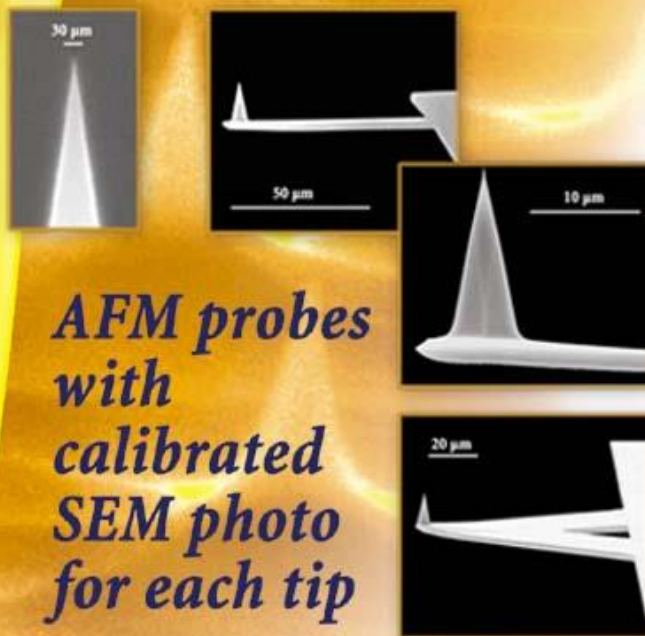


- ❖ Туннельная микроскопия и спектроскопия;
- ❖ Профиль поверхностных структур и его зависимость от давления прижима;
- ❖ Неоднородность силы трения в системе зонд – поверхность;
- ❖ Неоднородность адгезионных сил;
- ❖ Распределение поверхностного потенциала (Кельвин-мода);
- ❖ Распределение электрической емкости в системе кантилевер –поверхность;
- ❖ Распределение теплопроводности;
- ❖ Распределение модуля Юнга;
- ❖ Диагностика пределов упругой деформации;
- ❖ Распределение магнитных сил;
- ❖ Распределение пьезоэлектрических характеристик поверхностных структур;
- ❖ Распределение оптических свойств поверхности в видимой (спектроскопия комбинационного рассеяния с пространственным разрешением до 10 нм) и ИК области спектра с разрешением значительно превышающим дифракционные ограничения (ближнепольная беаппертурная оптическая микроскопия);
- ❖ Беаппертурная ИК и терагерцовая спектроскопия с пространственным разрешением до 10 нм – качественный анализ поверхности;
- ❖ Возможность модификации поверхности с созданием и исследованием свойств наноструктур

*AFM probes
with
Conductive
and
Magnetic
coatings*

*AFM probes
with
calibrated
SEM photo
for each tip*

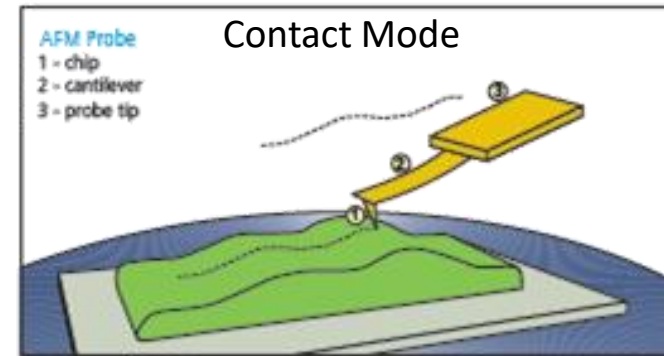
EBD "Whisker Type" probes



АСМ для исследования рельефа

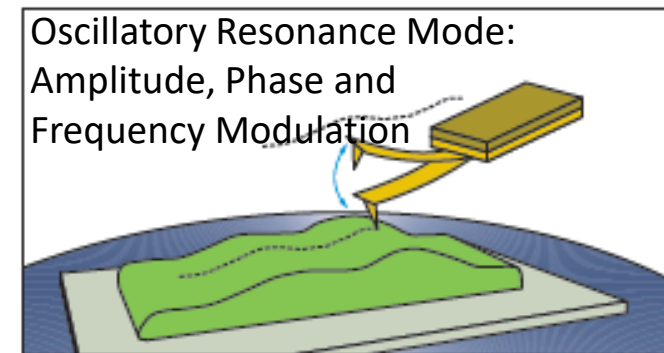
Контактная методика

Lateral force imaging, force modulation, contact resonance, PFM



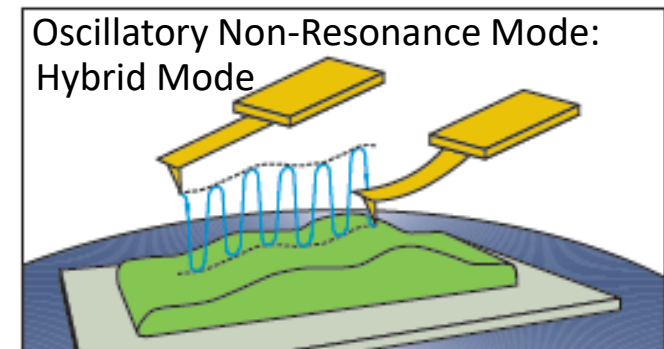
Осцилляционные резонансные методики

Amplitude modulation with phase and frequency imaging, frequency modulation, single- and double pass methods



Осцилляционные нерезонансные методики

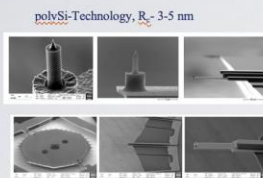
Jumping mode, HybriD™ mode, etc



Коллектив разработчиков – самый опытный на мировом рынке – опыт работы с 1989 года



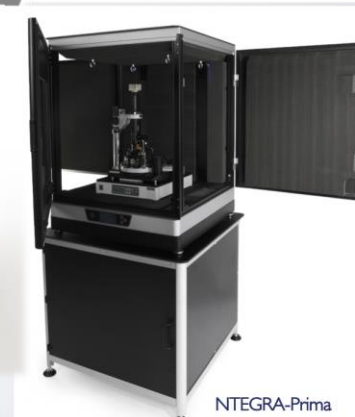
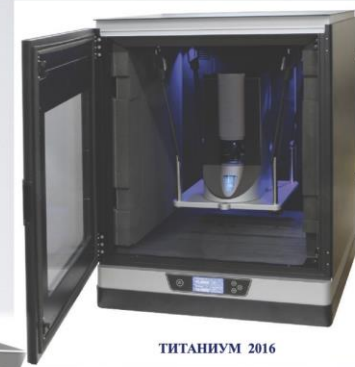
NT-MDT Spectrum Instruments Продуктовая линия 2018

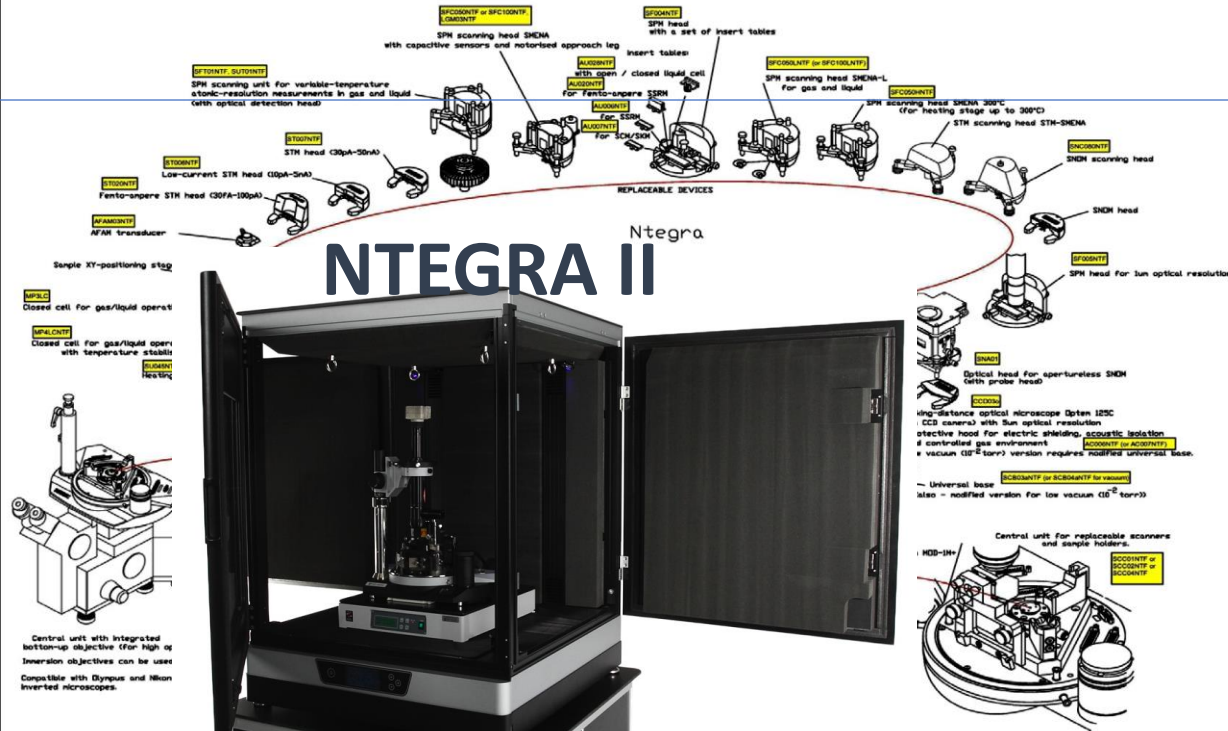


Новые типы кангилевров (2015 - 2016 г.г.)

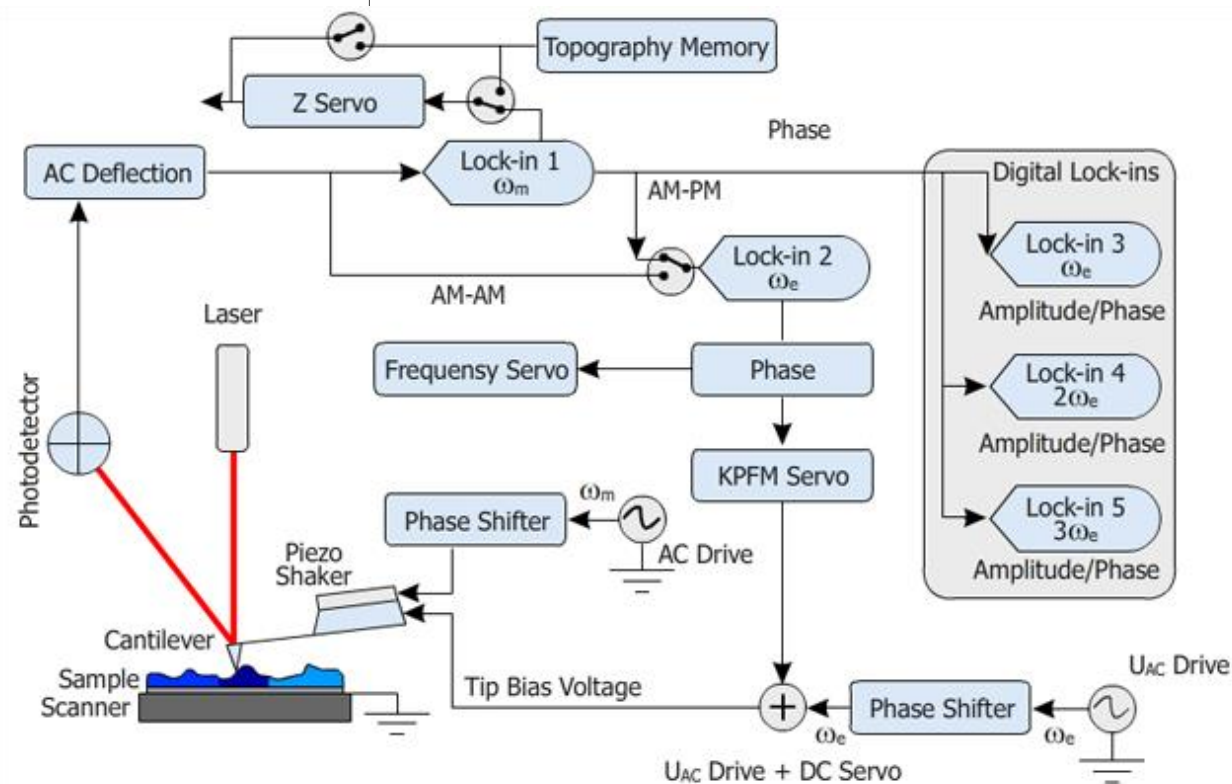


SOLVER-Pipe -2017





PX ULTRA CONTROLLER



- Частотный диапазон до 5MHz
- 5 предусилителей
- ADC скорость обработки – 500kHz
- ADC разрешение – 18bit
- Шум фазы до $-0,01^\circ$
- Температура – $T_{room} + 5^\circ$ с точностью $0,005^\circ$

Многофункциональные метрологические СЗМ ИНТЕГРА-Аура



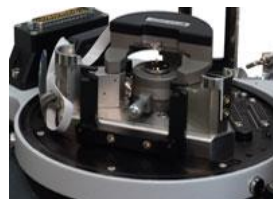
**The Configuration for
the Vacuum Condition**



**The Configuration for
Capacitance Microscopy,
Spreading resistance and High
Resolution Measurements**



**Electrochemical
measurements Configuration**



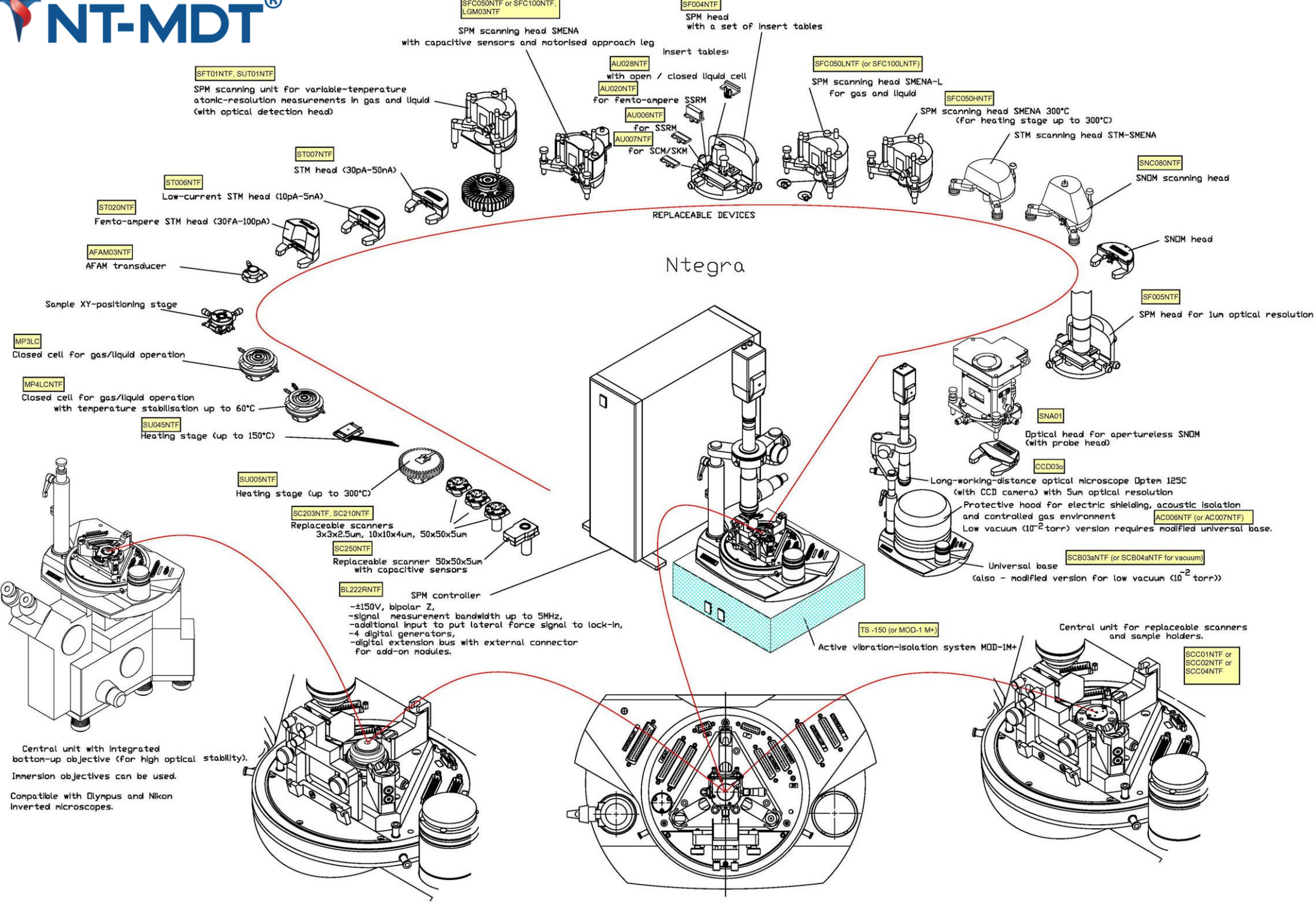
STM Measurements Configuration



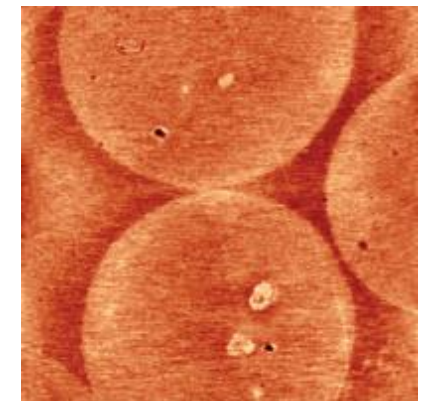
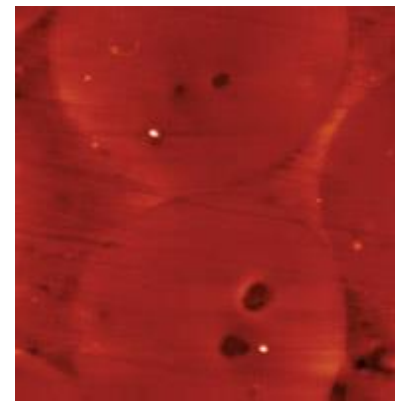
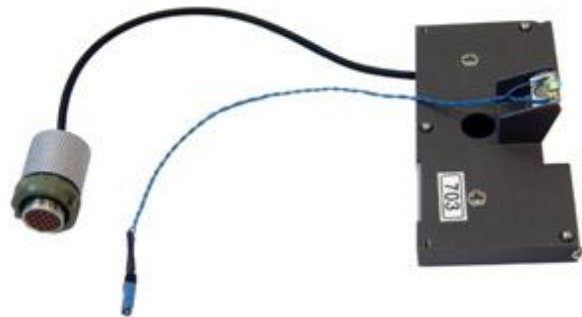
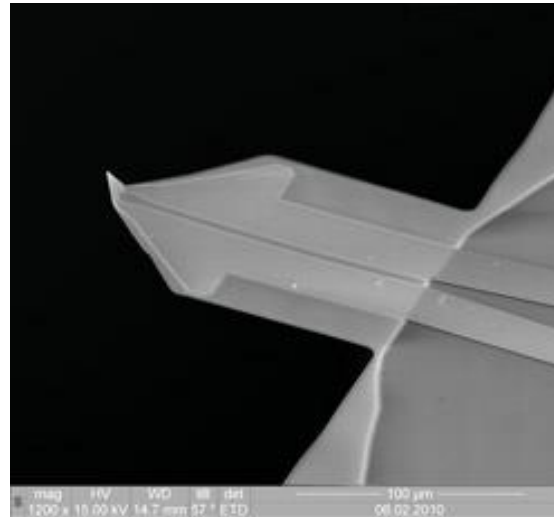
Liquid Cell Measurements Configuration



**Magnetic Properties
Measurements
Configuration**



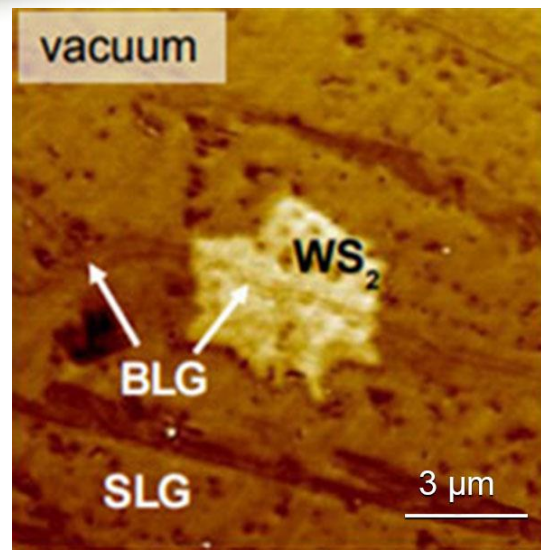
СКАНИРУЮЩАЯ ТЕПЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ (СТЕМ)



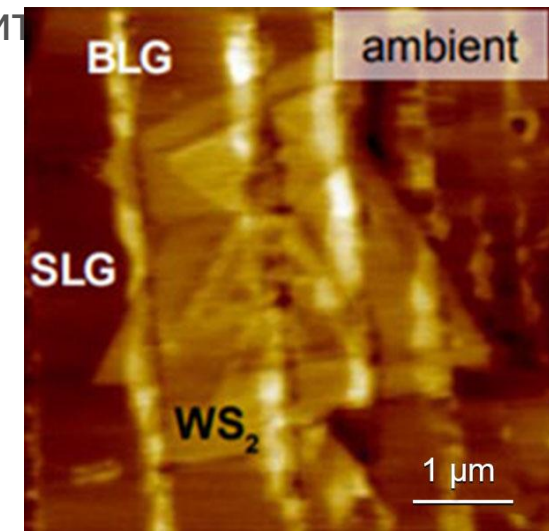
Тепловая микроскопия позволяет получать изображения с латеральным разрешением лучше 100 нм. Образец: оптоволокно в эпоксидной смоле. Слева – рельеф поверхности, справа – распределение теплопроводности. Размер изображения: 6х6 мкм.



КPFM изображение
WS₂/графен
гетероструктур в
вакууме (1×10^{-6} mbar).
Диапазон потенциала
1.77 В. Размер скана:
12x12 мкм



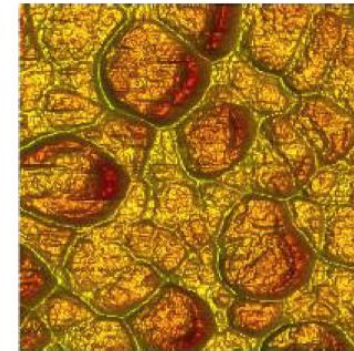
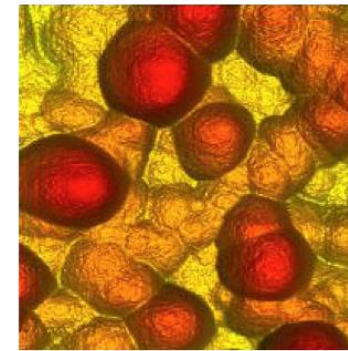
NTEGRA II — это
высококчувствительная система,
идеально подходящая для
измерений в вакууме до 10^{-3} торр
или в контролируемой атмосфере.
Широкое применение АСМ с
расширенными возможностями
MFM измерений во внешнем
магнитном поле.



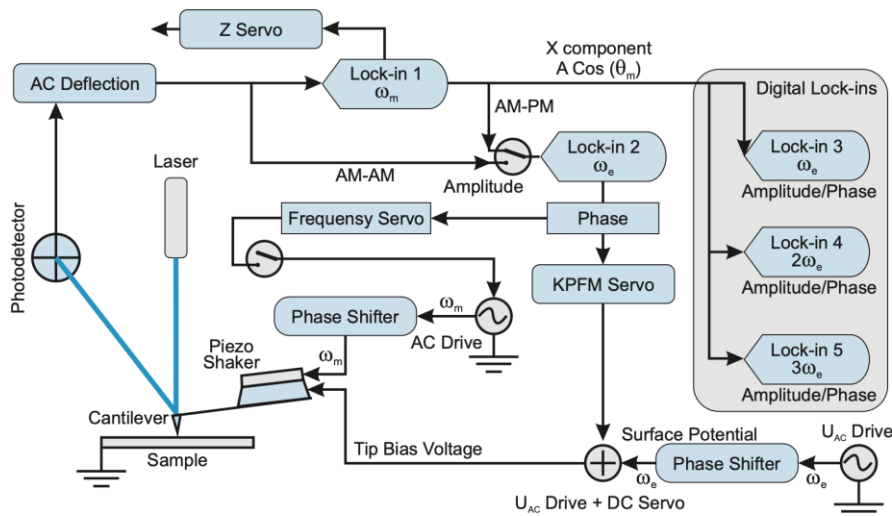
КPFM изображение
WS₂/графен
гетероструктур в
обычных условиях.
Диапазон потенциала
0.58 В. Размер скана:
5x5 мкм

НЕКСТ II

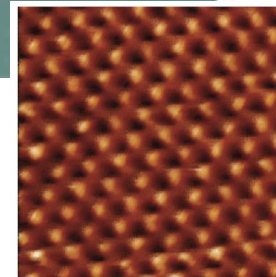
Автоматизированный Исследовательский АСМ



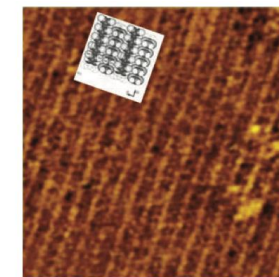
Zr керамика: (а) – рельеф, (б) – распределение модуля упругости. Размер скана 1×1 мкм



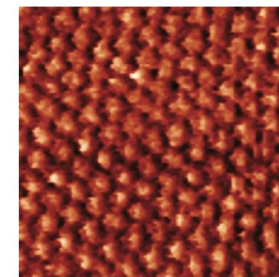
Реализация многочастотных методов АСМ



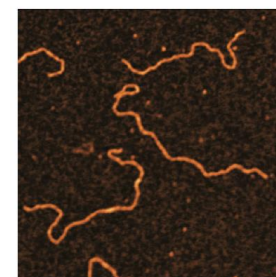
Атомарная решетка ВОПГ, СТМ. Размер скана 2,1×2,1 нм



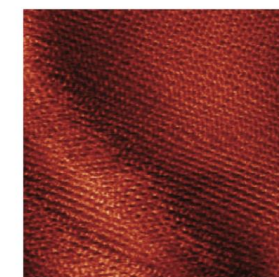
ПТФЭ пленка, АМ-АСМ. Размер скана 18×18 нм



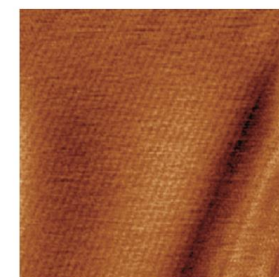
Атомарная решетка слюды, ЛСМ. Размер скана 6×6 нм



ДНК на поверхности слюды, АМ-АСМ. Размер скана 1×1 мкм



Атомная решетка кальцита в жидкости Амплитудно-модуляционная АСМ. Размер скана 20×20 нм

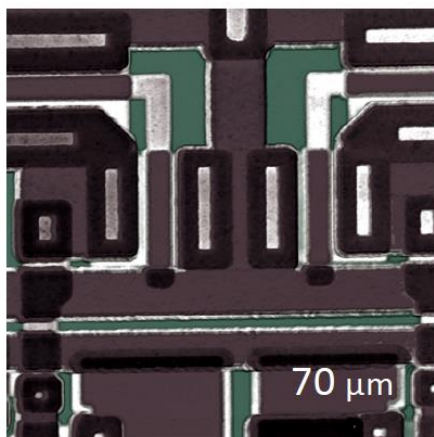


Слой PTFE Амплитудно-модуляционная АСМ. Размер скана 18×18 нм

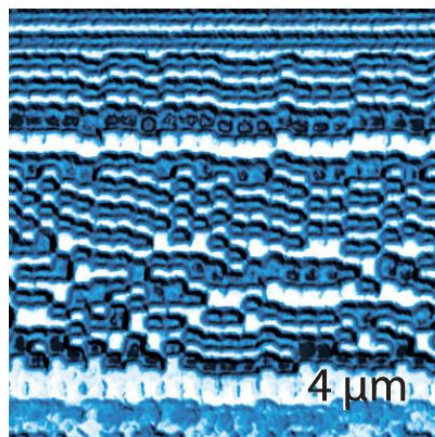


Высокопроизводительный АСМ для исследования большеразмерных образцов

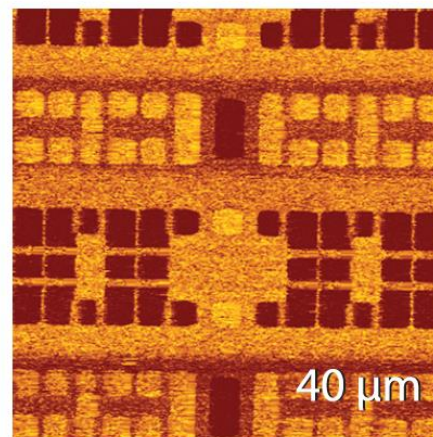
- Измерения рельефа и других поверхностных свойств с нанометровым пространственным разрешением на пластинах диаметром до 200 мм, большеразмерных образцах и массивах образцов
- Высочайший уровень автоматизации процессов настройки и измерений
- 50+ современных методов АСМ, включая методы высокоскоростной прыжковой микроскопии
- Быстрое сканирование для рутинных потоковых измерений морфологии структур



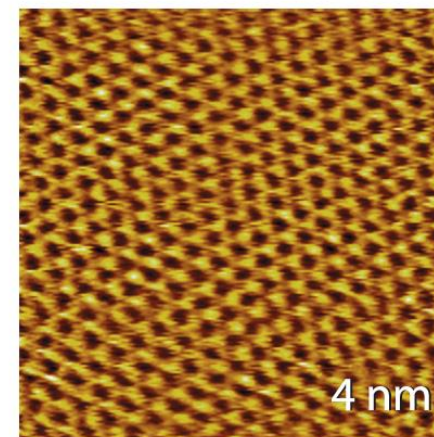
Рельеф фрагмента микросхемы



Магнитные домены
в HDD 1 ТБ



Поверхностный потенциал
в SRAM



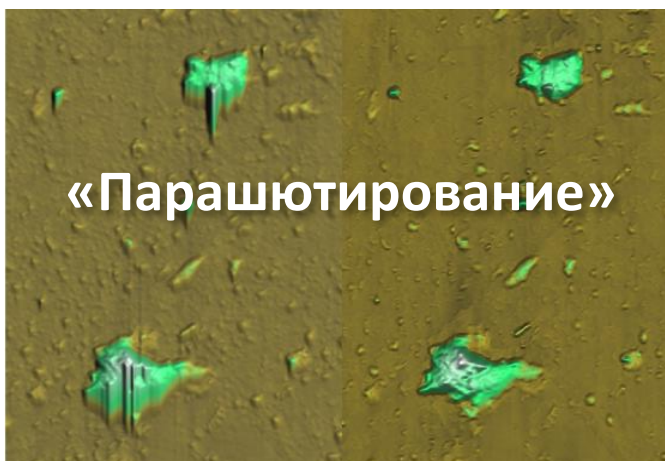
Атомное разрешение
на графите

Для получения хороших результатов сканирования необходимо оптимизировать как минимум 4 параметра:

- амплитуда раскачки зонда A_0 ;
- рабочая точка (set point) сигнала обратной связи (SP);
- интегральный коэффициент обратной связи (k_i)
- скорость сканирования (V_x) ;

Другие влияющие параметры:

- LP – полоса фильтра низких частот
- k_p - коэффициент усиления пропорциональной обратной связи



ScanTronic™ –

Искусственный интеллект
в АСМ радикально
понижает требования к
специализации
пользователя



Straightforward for beginners
Helpful for experts

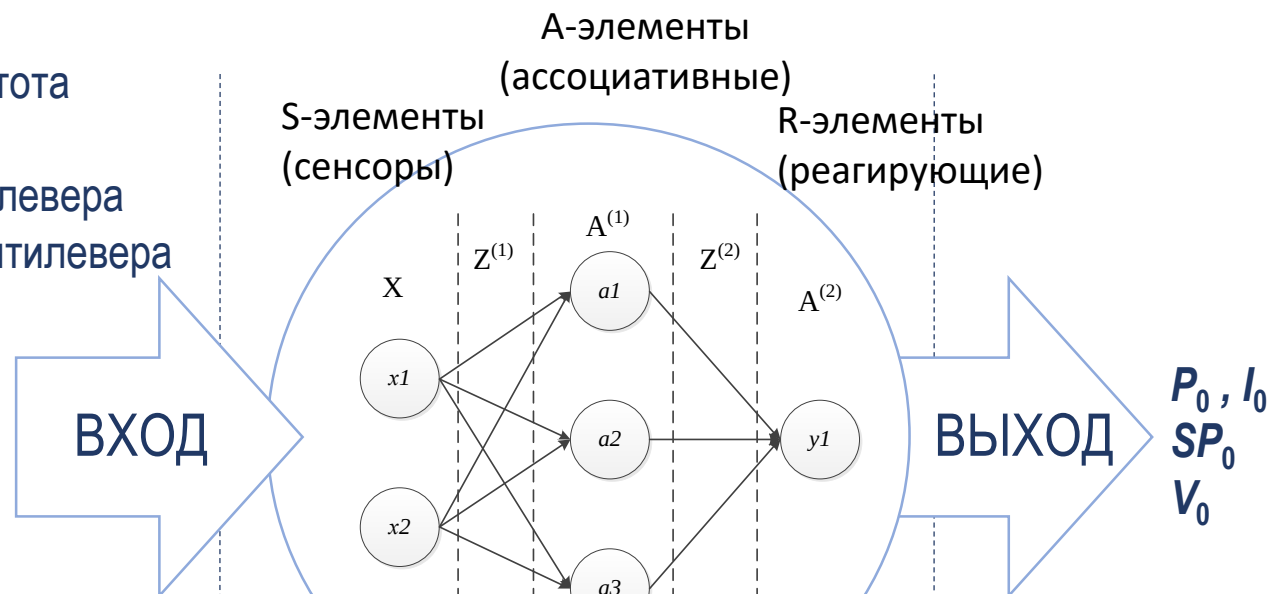
www.ntmdt-si.com

Автоматический выбор оптимальных параметров сканирования

f – резонансная частота
кантилевера

K – жесткость кантилевера

Q – добротность кантилевера



Nx – кол-во пикселей и размер
скана

Характеристики образца
(липкость, заряд, шероховатость
и жесткость)

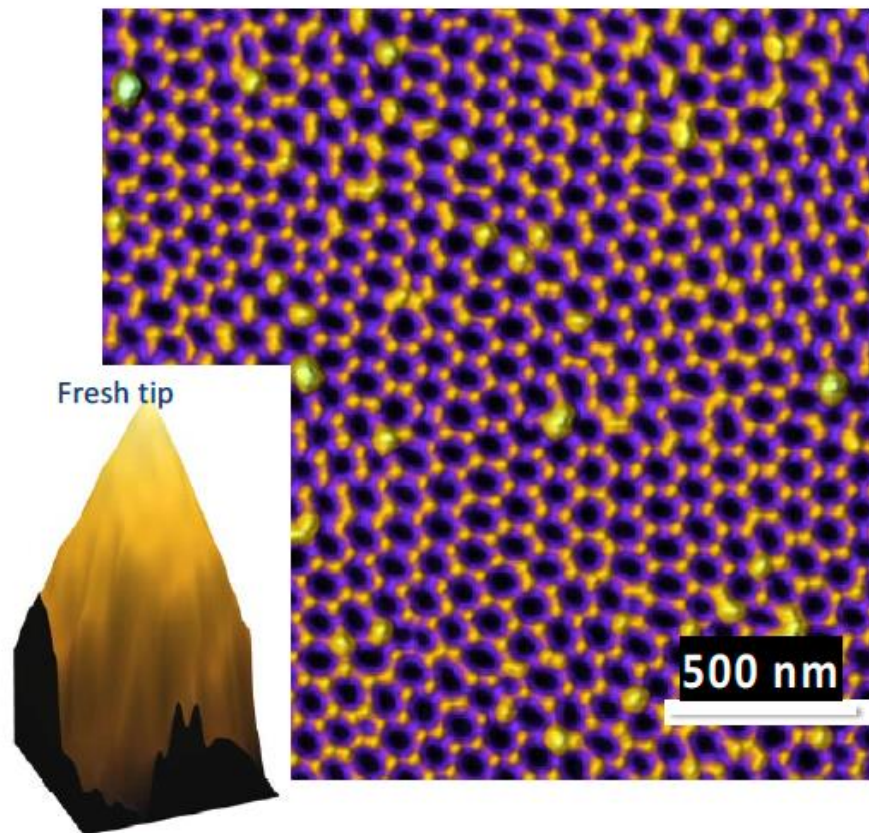


Обучение

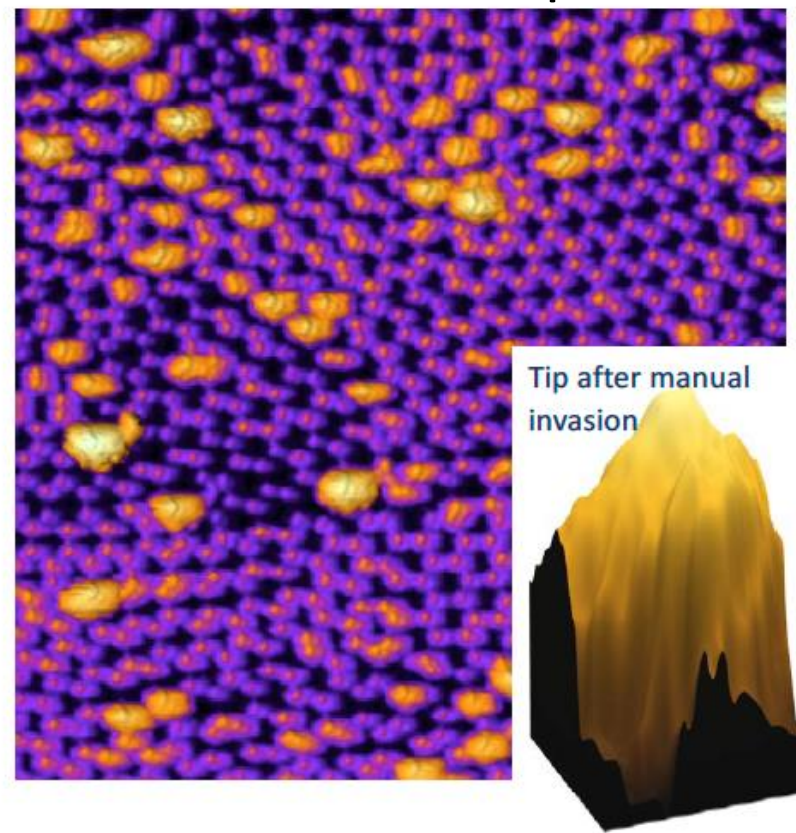
Основано на методе обратного
распространения ошибки с
использованием алгоритма BFGS
(Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-
Шанно)

Scan Tronic: Examples of application

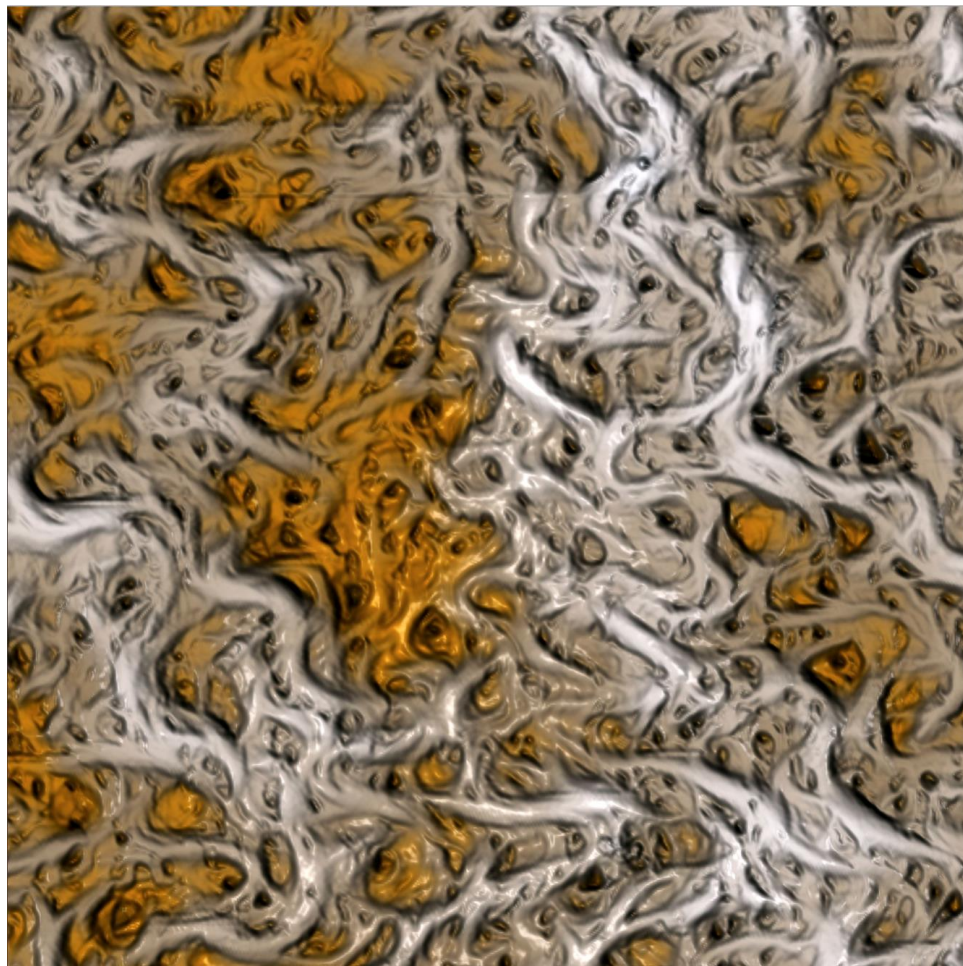
ИИ – ScanTronic!!!



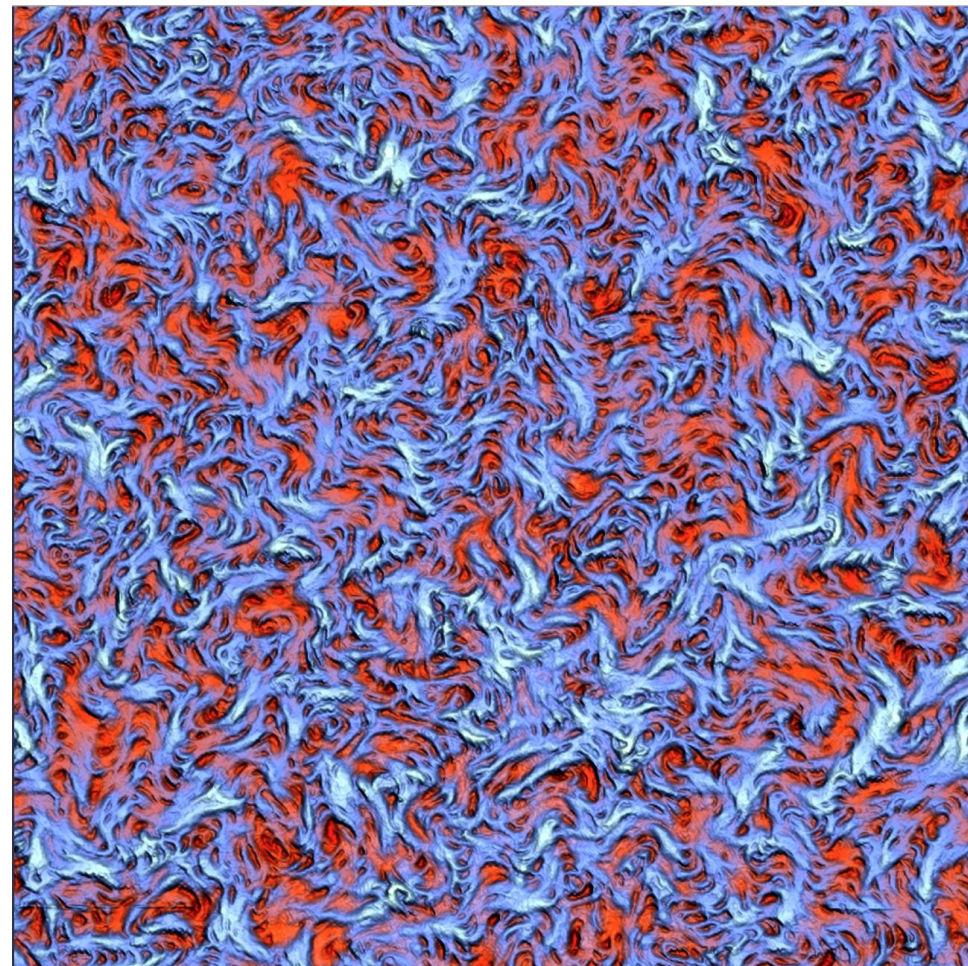
Опытный специалист



Al_2O_3 - "Grater" sample for tips.
Left – topography, ScanTronic used, right – manual attempt to adjust scanning parameters

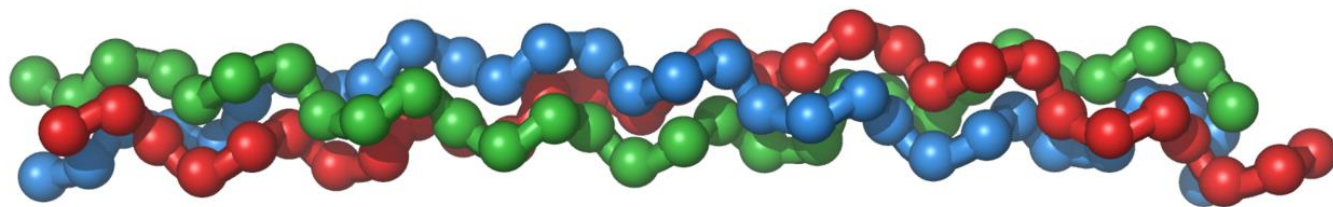


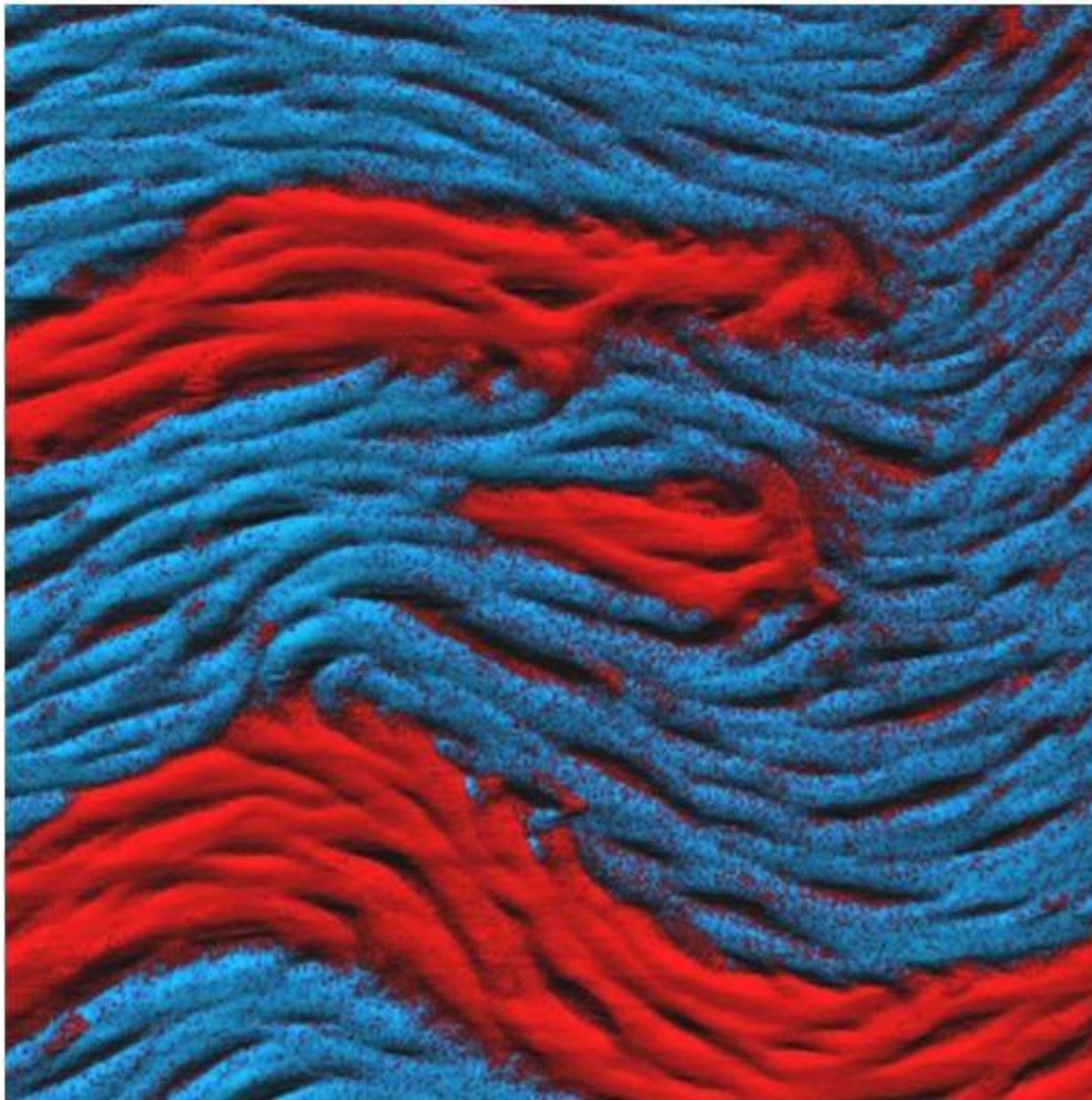
F03BA Collagen
20x20x1,2 мкм



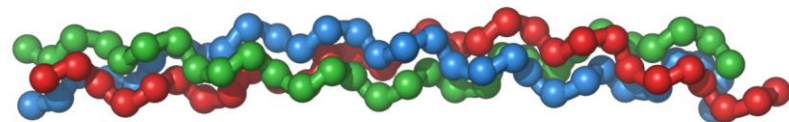
E13DD Collagen
20x20x0,35mkm

Коллаген





Solver NEXT, 3x3 mkm, PFM
Phase on Collagen



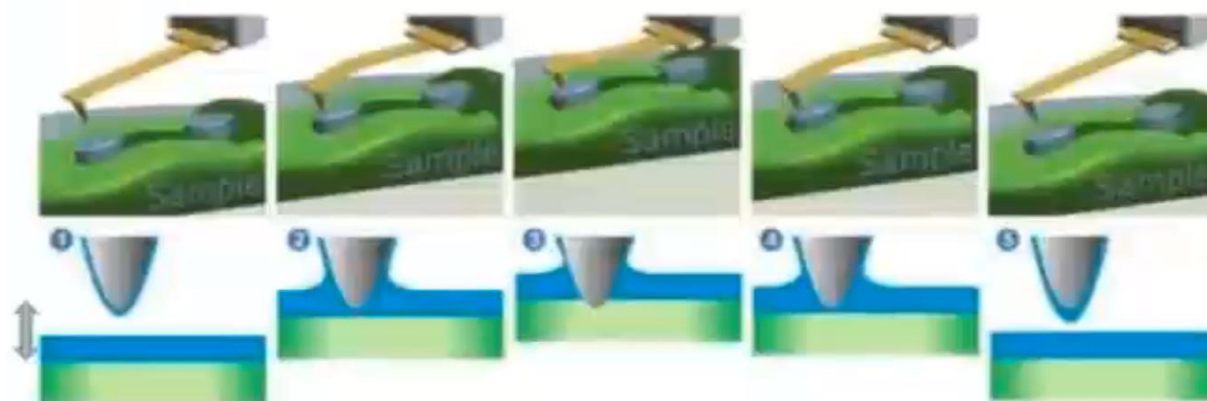
Basics of the Hybrid Mode

Predecessors

H. Becker, et al "Stylus profiler featuring an oscillating probe" US Patent 2728222, 1955.

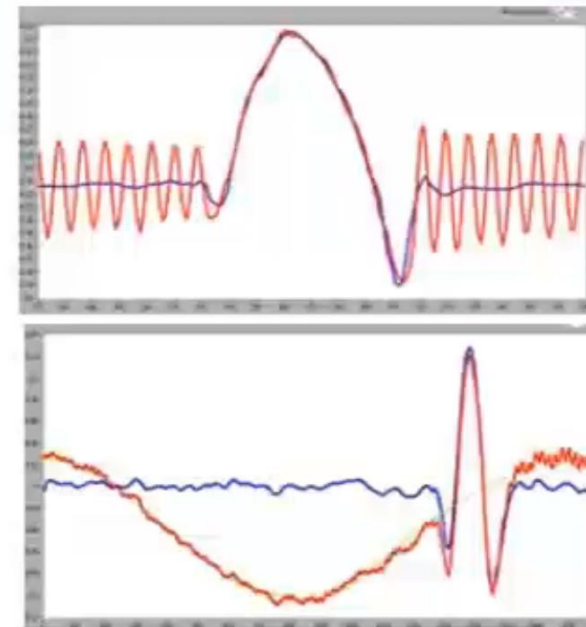
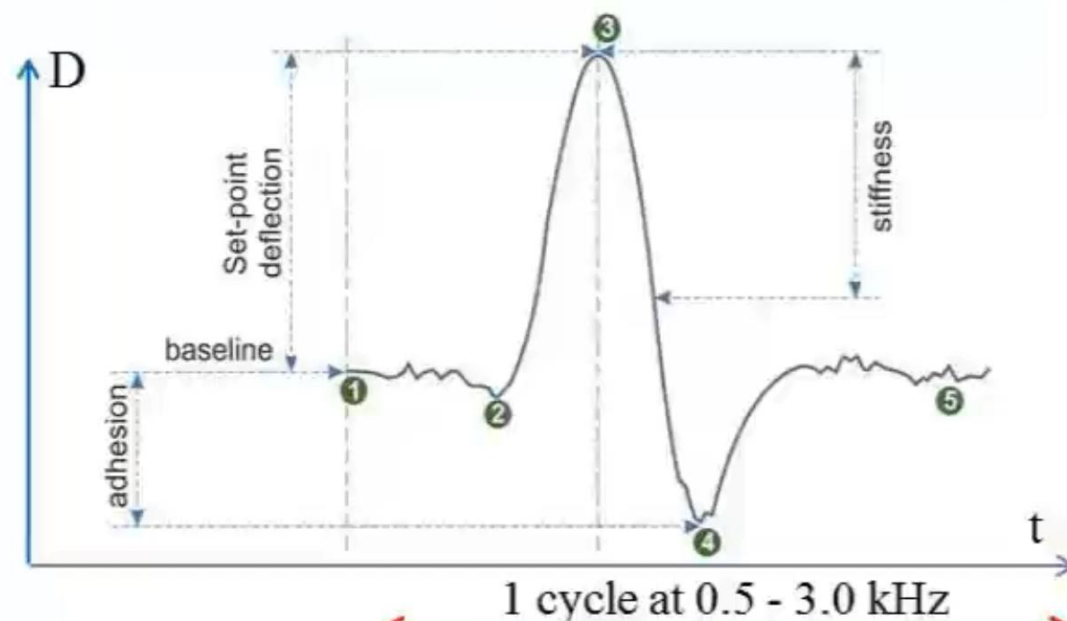
V. Elings, & J. Gurley "Jumping probe microscope" US Patent 5,229,606, 1993.

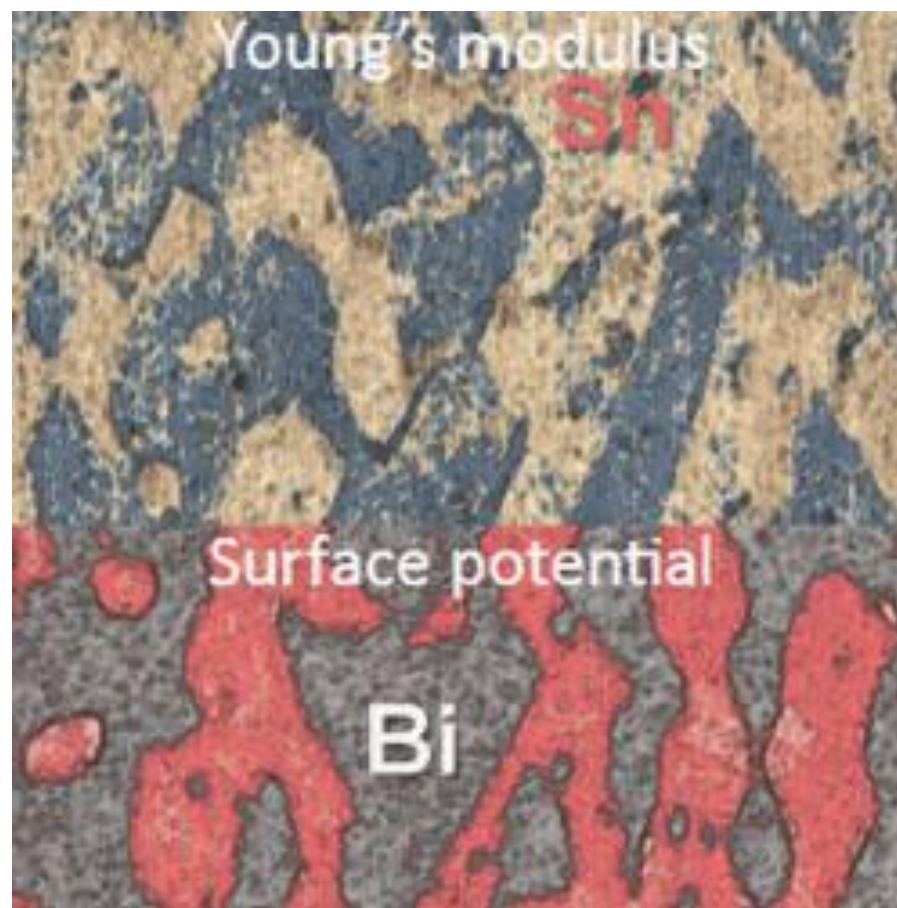
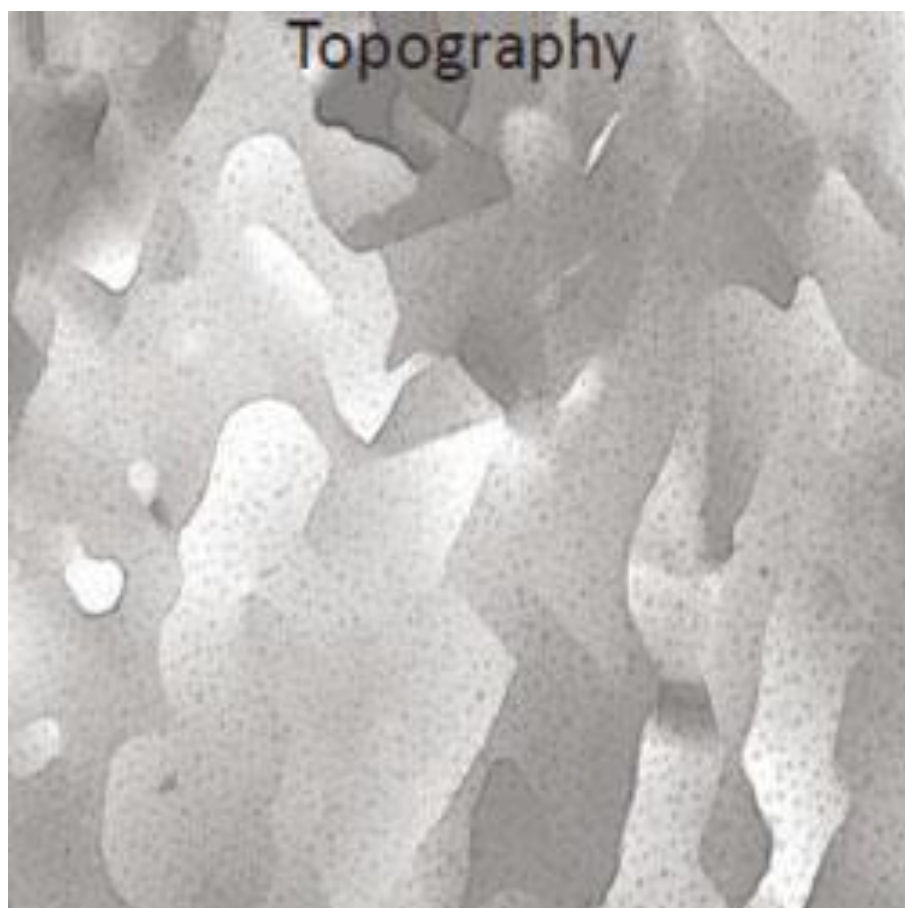
Pulsed Force (Witec), Jumping Mode (NanoTech), Peak Force (Bruker), Anasys



Temporal Deflection Plot – The Bank of the Local Properties!

Real-time Wavelet Filtering



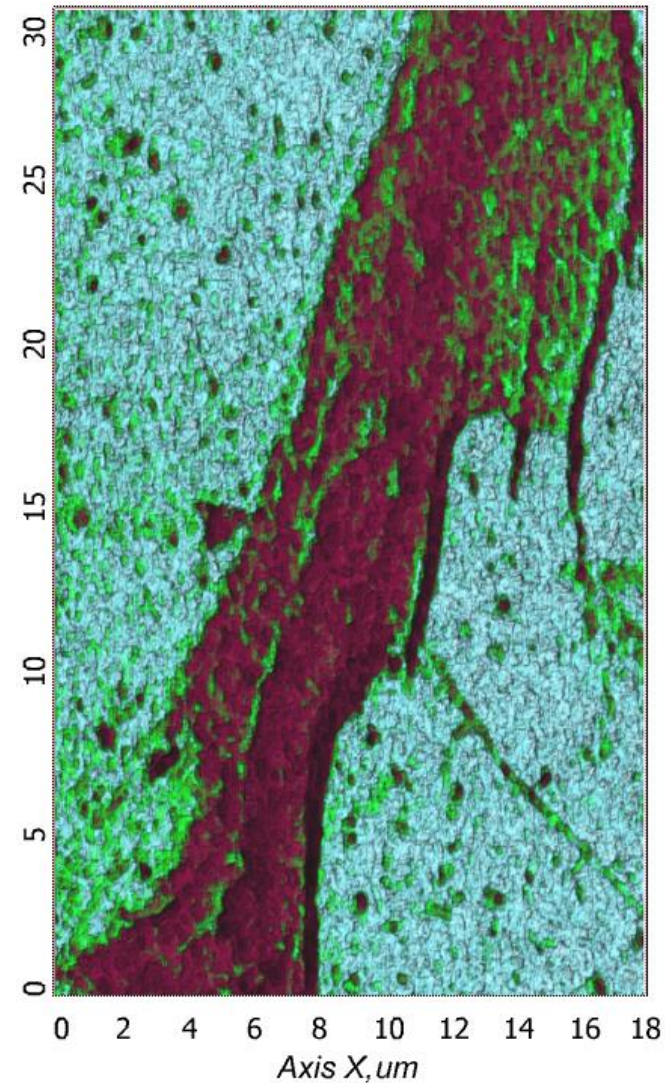
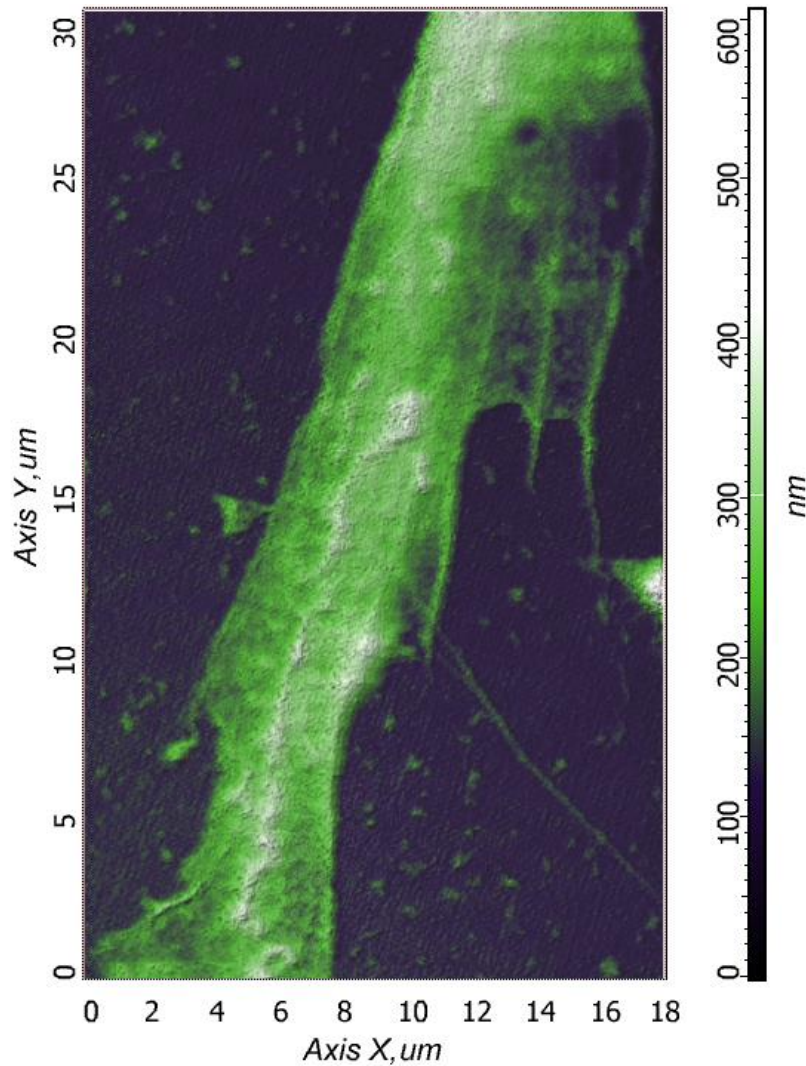


Исследование сплава олово-висмут прыжковой АСМ (Hybrig Mode). Размер скана 10x10 мкм. Слева – топография, справа – поверхностный потенциал и модуль Юнга.

ЖИВЫЕ стволовые клетки, Hybrid Mode

Рельеф

Жесткость



Массив данных из 180x300 силовых кривых позволяет построить карту жесткости образца (справа) и изображение его рельефа (слева)

NTEGRA EC. Results (Cu/Au)

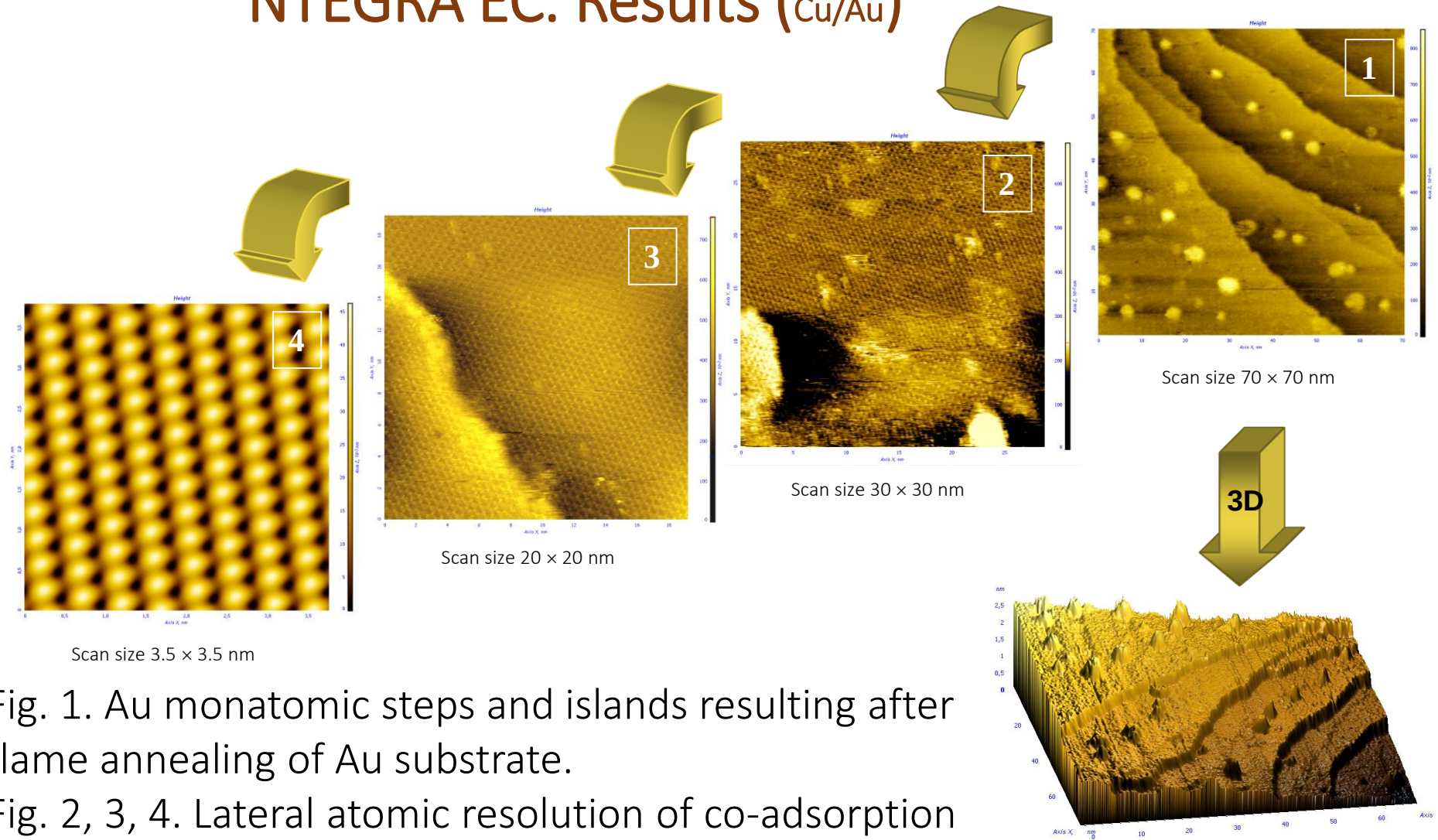


Fig. 1. Au monatomic steps and islands resulting after flame annealing of Au substrate.

Fig. 2, 3, 4. Lateral atomic resolution of co-adsorption lattice ($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$)R30° of Cu-ad atoms and bisulphate anions.

Образовательный проект СТАРТ



15-03-1930 – 01-03-2019

Инициатором проекта по использованию сканирующих зондовых микроскопов в школах, колледжах, высших учебных заведениях был лауреат Нобелевской премии по физике Жорес Иванович Алферов. Идея оказалась жизнеспособной и популярной.

Разработки приборов начались с 2002 года. Последовательно было выпущено три поколения приборов этого типа. Уже вторая версия приборов – НАНОЭДЮКАТОР-II вошла в сотню лучших мировых разработок.

Учебно-исследовательский лабораторный комплекс НАНОЭДЮКАТОР

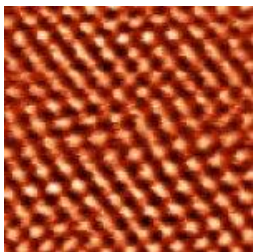
установлен в более чем 80 ВУЗах, и 320 школах в России и за рубежом.



В настоящее время создан 3-й вариант этих приборов с мощным интеллектуальным наполнением на базе алгоритмов искусственного интеллекта, позволяющий сосредоточить внимание учащихся не на методике и приборе, а на предмете исследования исследования – биологических препаратах клеток, вирусов, молекул. На свойствах исследуемых материалов.

- 2003 году первые продажи НЭ I;
- в 2011 модернизация комплекса до НЭ II;
- В 2013 модернизация НЭ II функциональными модулями.
- В 2018 году модернизация контроллера и программного обеспечения – автоматизация настроек, программа ScanTronic

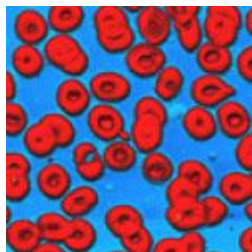




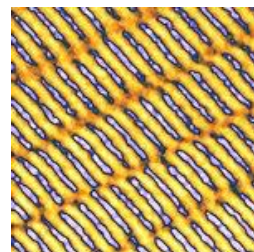
Атомная
решетка ВОПГ.
Размер скана 4×4
нм.
Контактная
латеральная АСМ



Атомные слои на
графите.
Размер скана
1.8×1.8 мкм.
АМ АСМ



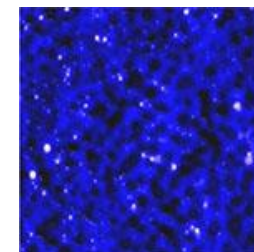
Клетки
крови.
Размер
скана 50×50
мкм.
АМ АСМ



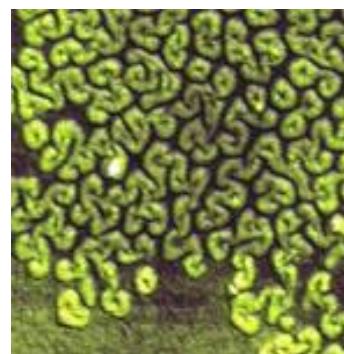
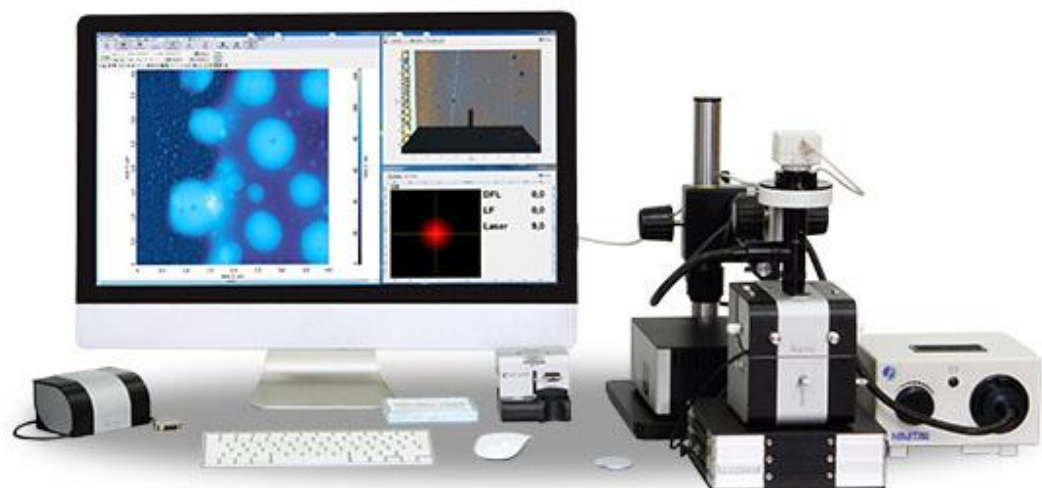
Магнитные
домены
НЖМД.
Размер скана
30×30 мкм.
АМ МСМ



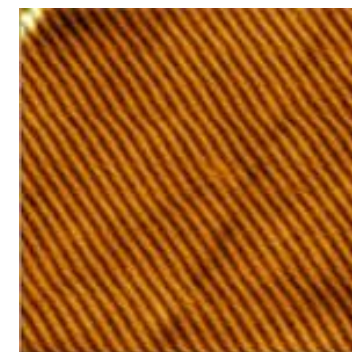
Серебряные
проволоки.
Размер скана
4×4 мкм.
АМ АСМ



Смесь полистирен-
полиэтилена.
Размер скана 20×20
мкм.
HybriD метод АСМ



Флуороалканы.
Размер скана 500×500 нм.
АМ АСМ



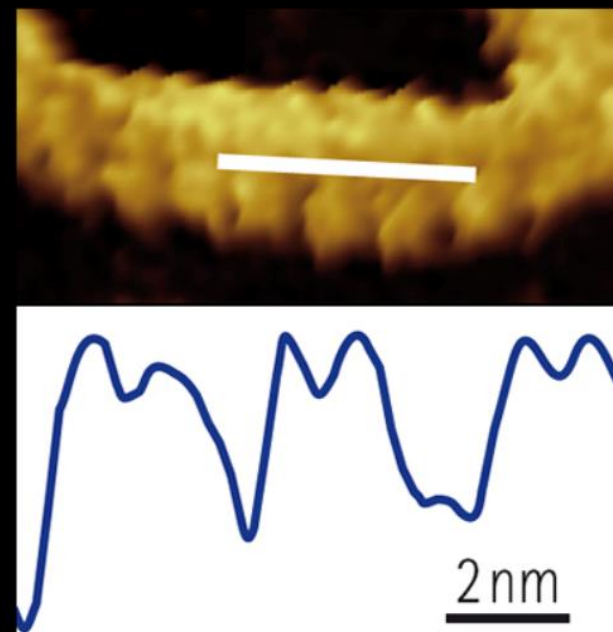
C60H122 на ВОПГ.
Размер скана 250×250 нм.
АМ АСМ

Получено на приборах СОЛВЕР-НАНО

Молекула ДНК, АСМ изображение топографии

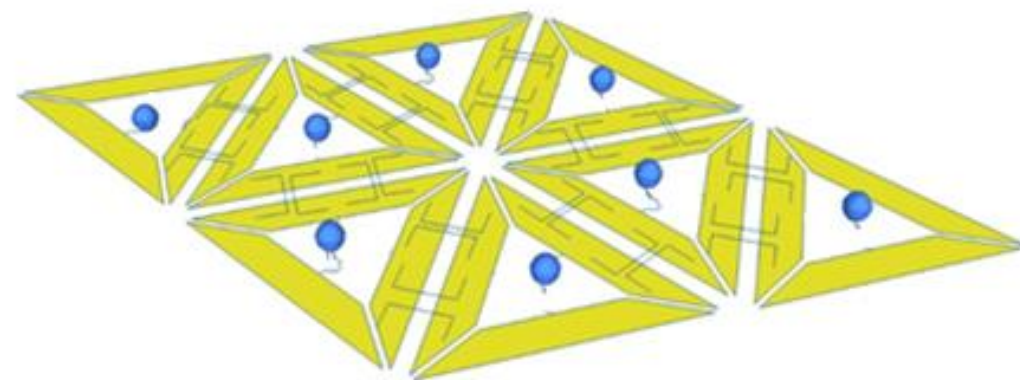
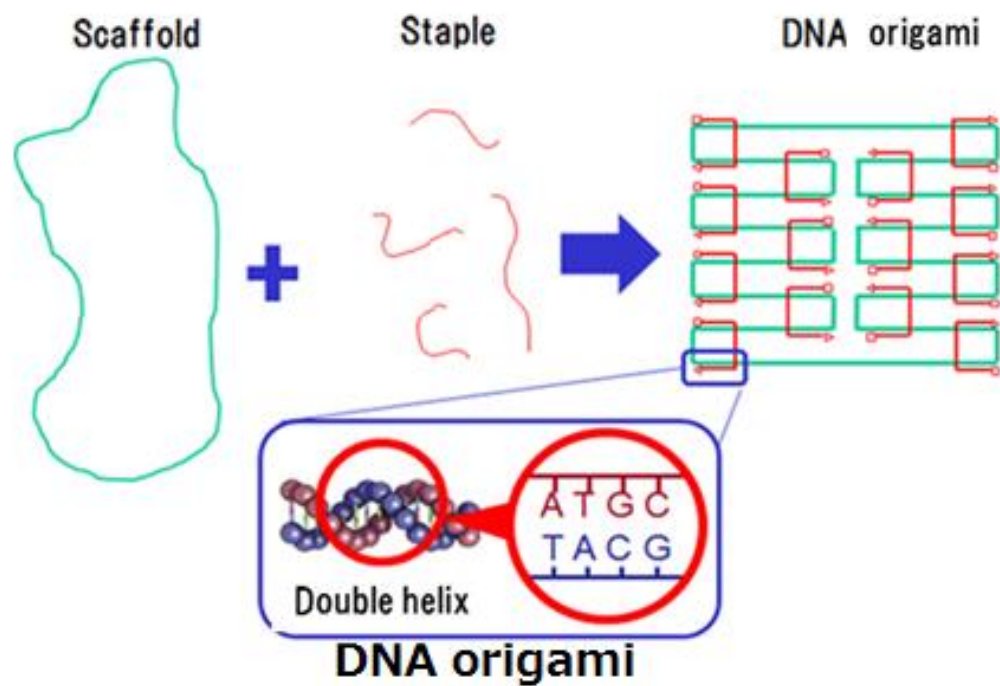
QI™ DNA - Major and minor grooves

Imaged with NanoWizard® BioScience AFM

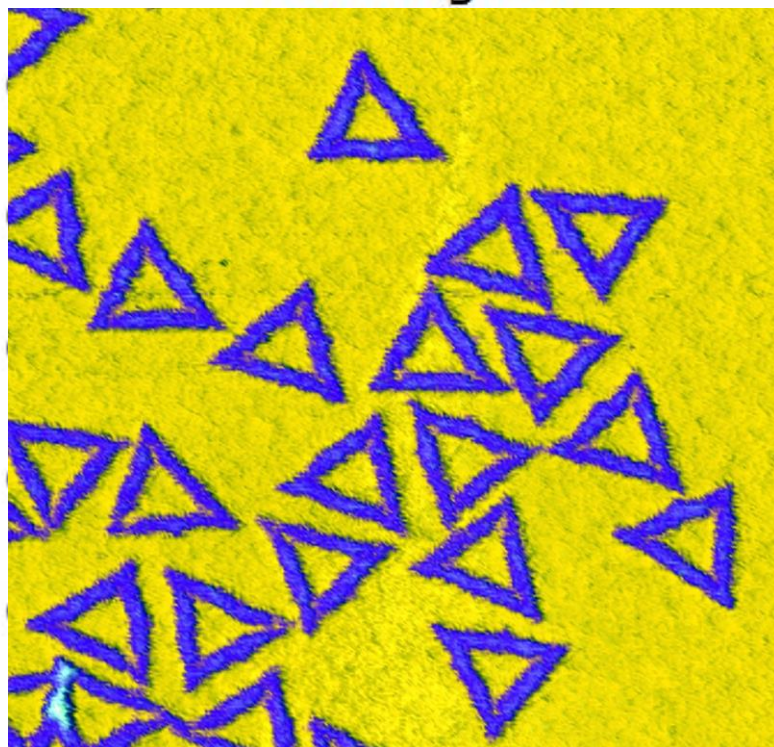


Vector DNA on a poly-lornithine covered mica substrate measured in liquid and cross section of the marked region. Major and minor grooves are clearly visible. Imaged with QI™ mode.

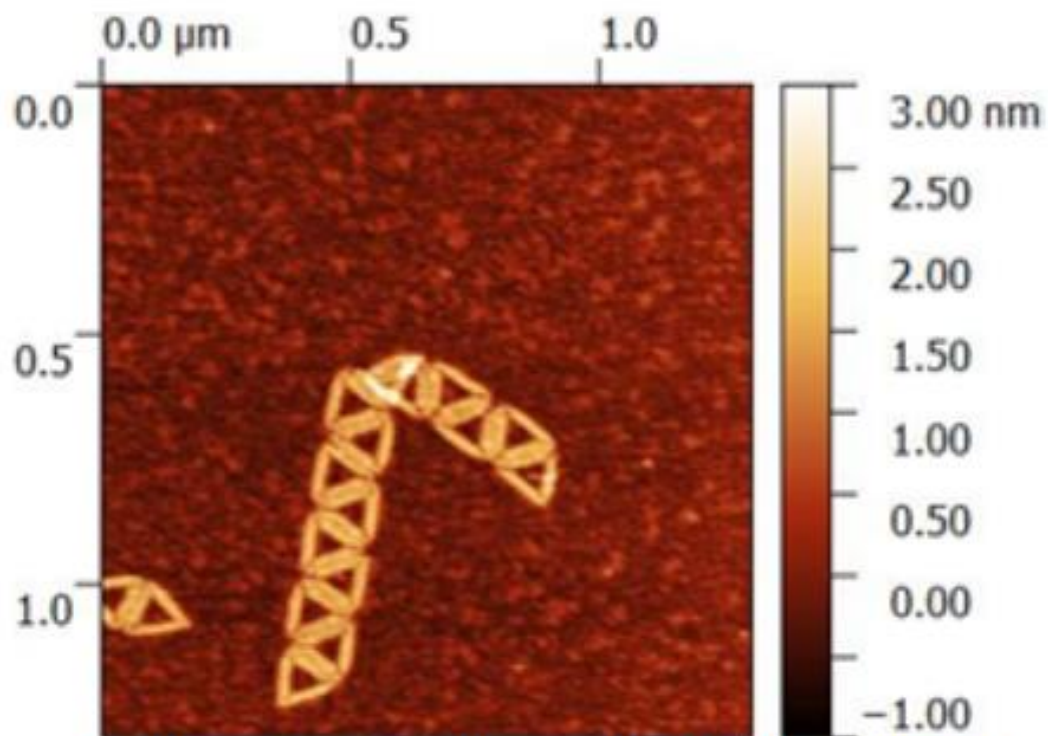
Scan size: 90 nm x 90 nm; z-range: 2 nm



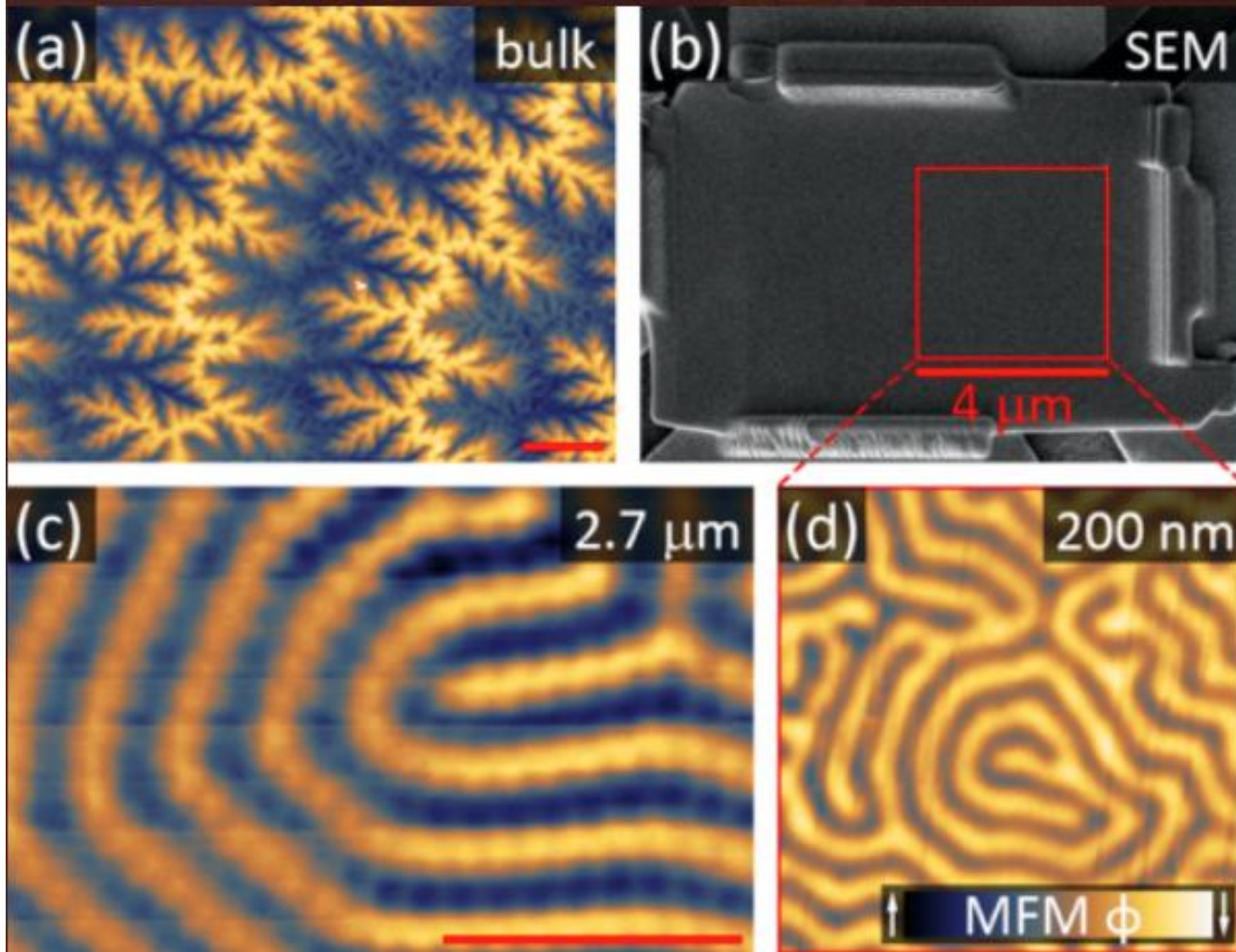
2-dimensional Array



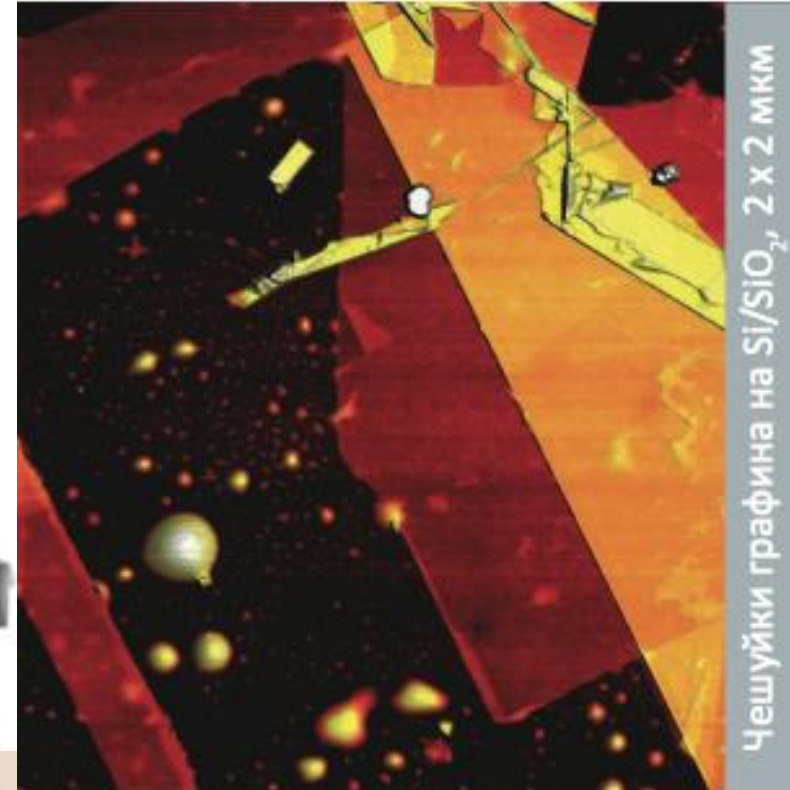
AFM image of designed DNA origami
700x700 nm



AFM image of polymerized DNA origami



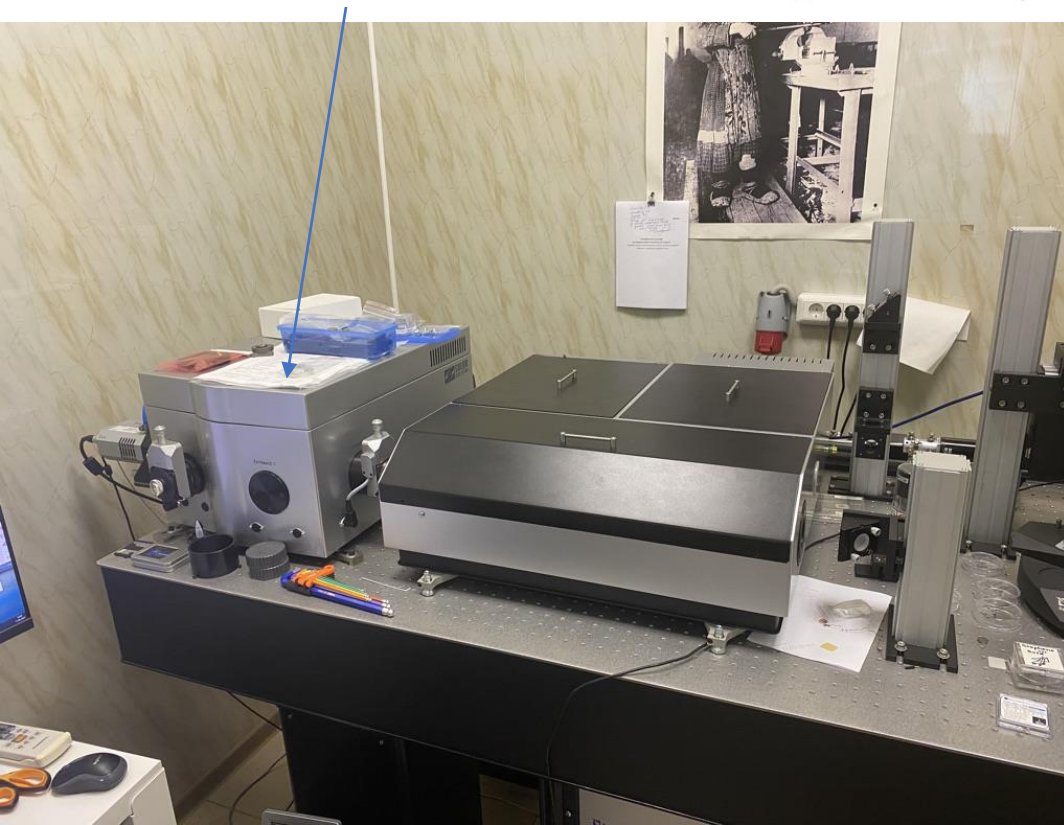
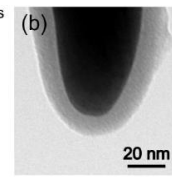
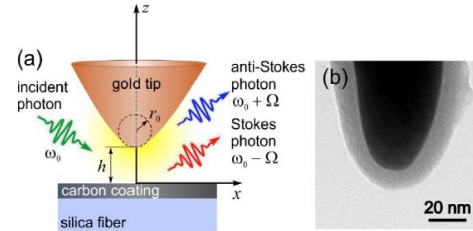
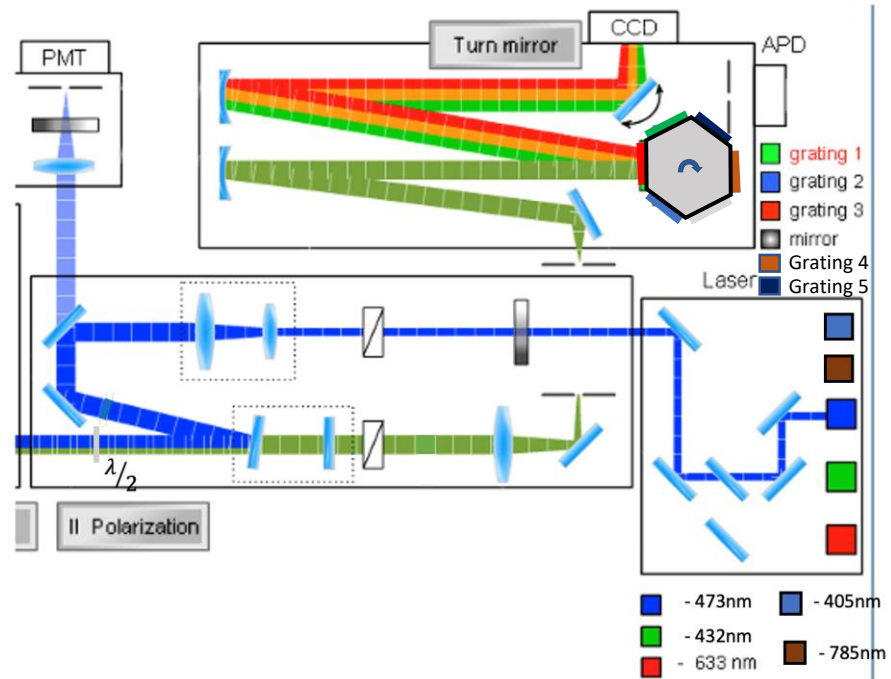
Magnetic and geometric control of spin textures in the itinerant kagome magnet Fe_3Sn_2 ; Markus Althaler, Erik Lysne, Erik Roede, Lilian Prodan, Vladimir Tsurkan, Mohamed A. Kassem, Hiroyuki Nakamura, Stephan Krohns, István Kézsmárki, and Dennis Meier
Phys. Rev. Research **3**, 043191 – Published 17 December 2021



ИНТЕГРА Спектра II

- Автоматизированный АСМ высокого разрешения
- Конструктивные решения, оптимизированные для TERS-экспериментов: оптический доступ сверху, снизу и сбоку
- Модульная оптическая система позволяет реализовать любую конфигурацию возбуждения и сбора оптического отклика
- Автоматизированная настройка системы лазер-зонд-фотодиод
- Простая смена длины волны источника излучения оптической системы АСМ
- Легкая и точная настройка объективов

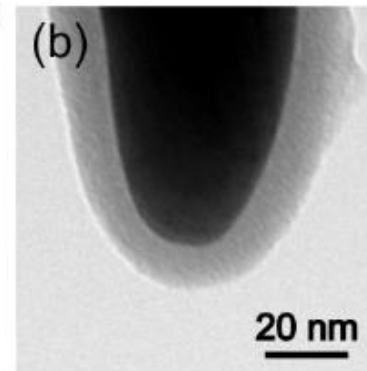
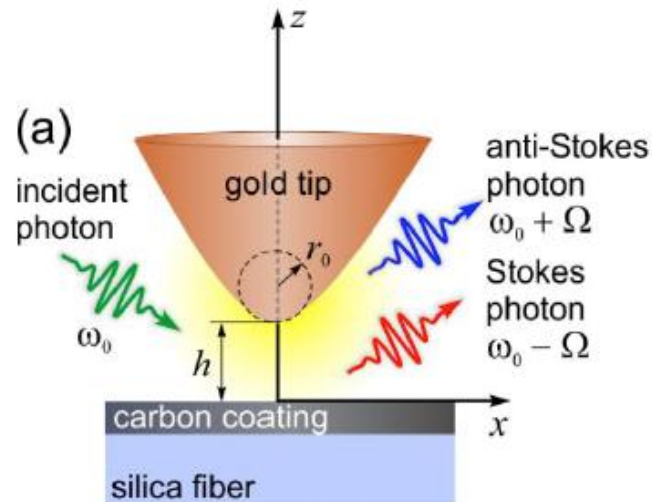
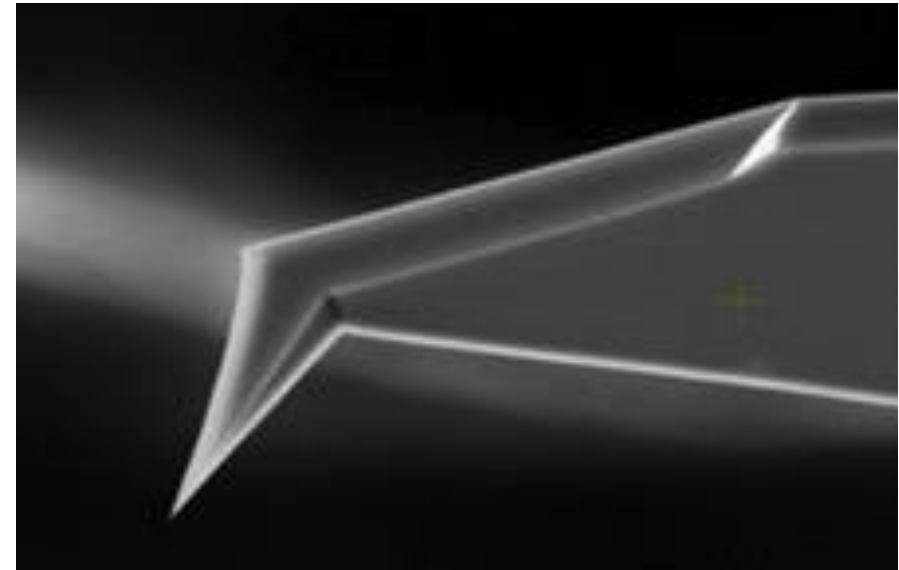
Система СПЕКТРА II в МФТИ, 2021



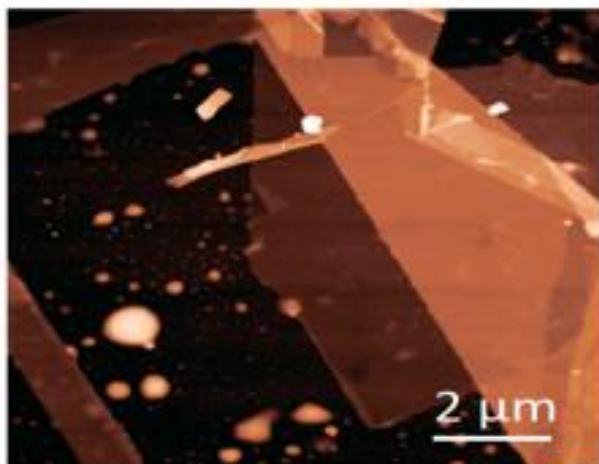
Высокоэффективные и долгоживущие зонды для TERS

Gold/Silver coated TERS AFM Probes

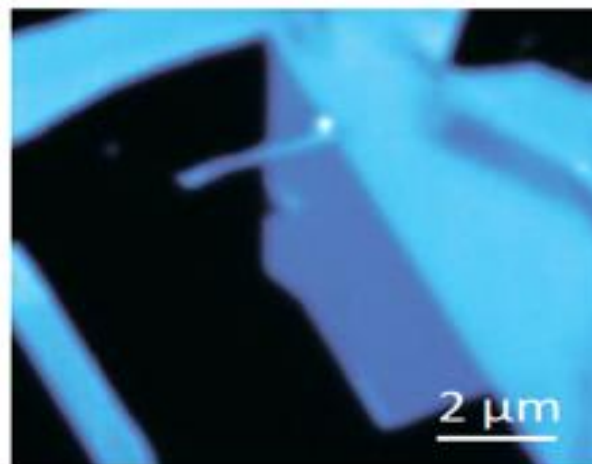
- **Enhancement factors: up to 10^4**
- **Lateral resolution in TERS: down to 20nm**
- **High speed TERS mapping**
- **Top-down illumination configuration (opaque samples)**
- **Based on commercial AFM cantilevers (contact, non-contact):**
 - multiple AFM modes, excellent imaging performance



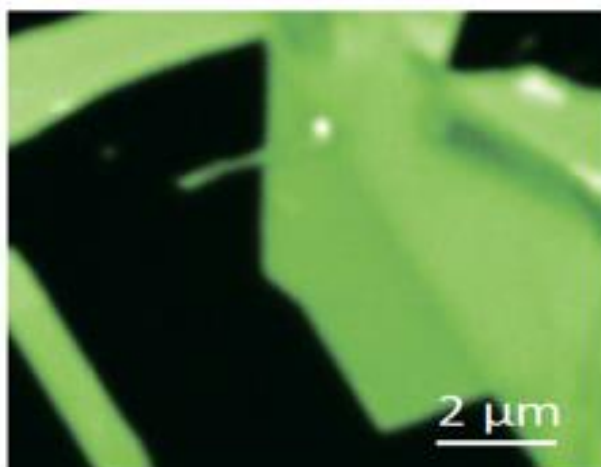
Чешуйки графена на Si/SiO₂



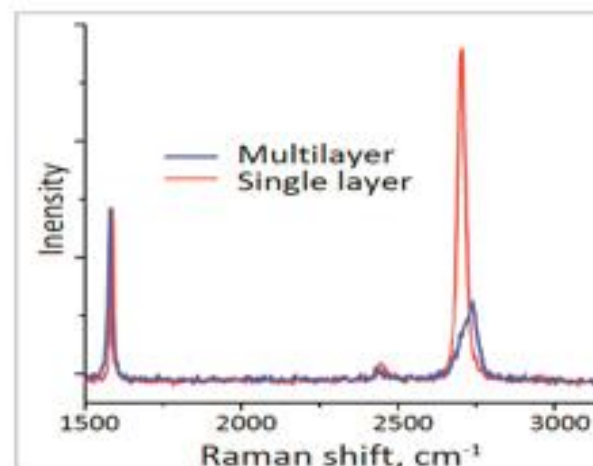
Рельеф



Интенсивность G полосы



Интенсивность 2D полосы

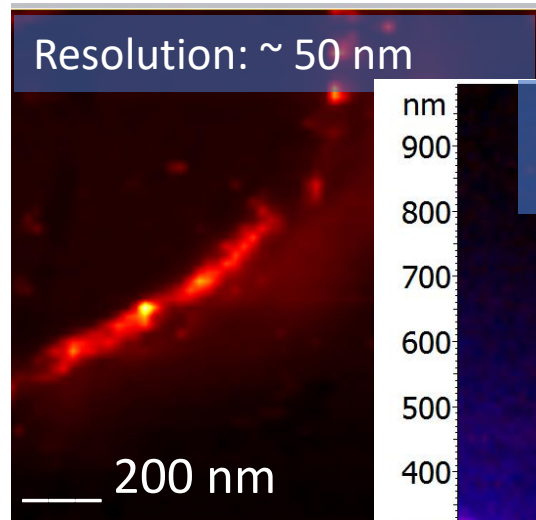


Рамановский спектр

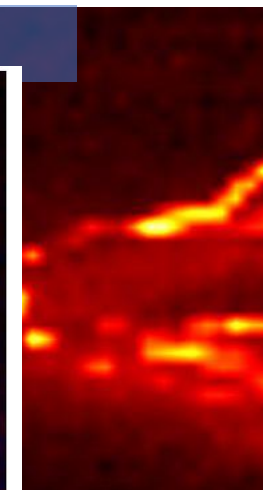
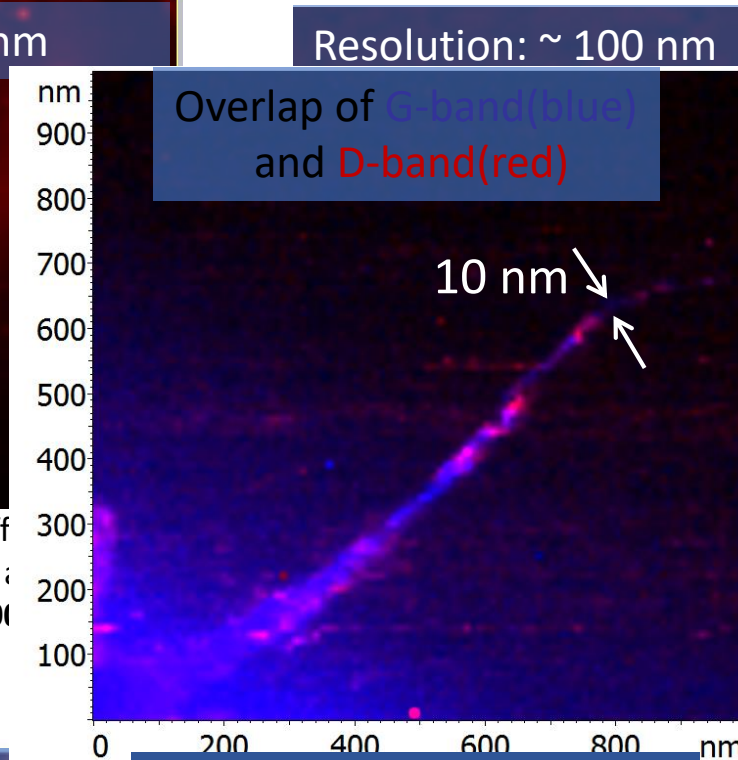
TERS графена на кремнии со слоем окисла

TERS on carbon nanotubes.

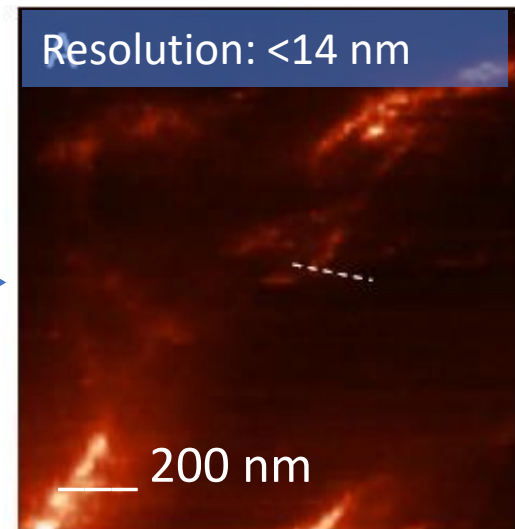
All data – using NT-MDT instrument



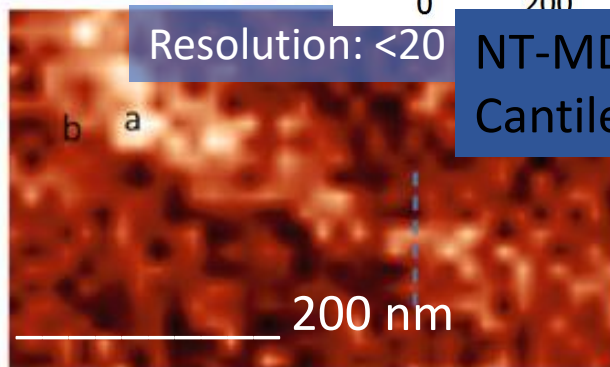
S.S. Kharintsev, G. Hoffmann, G. Dorozhkin, G. de With, Nanotechnology 18 (2007) 175701



os, R. Zenobi (2008)

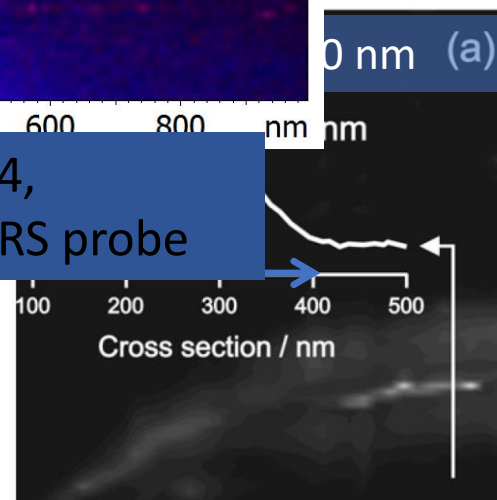


Chan K.L., Kazarian S.G., Nanotechnology 21, 445704 (2010)

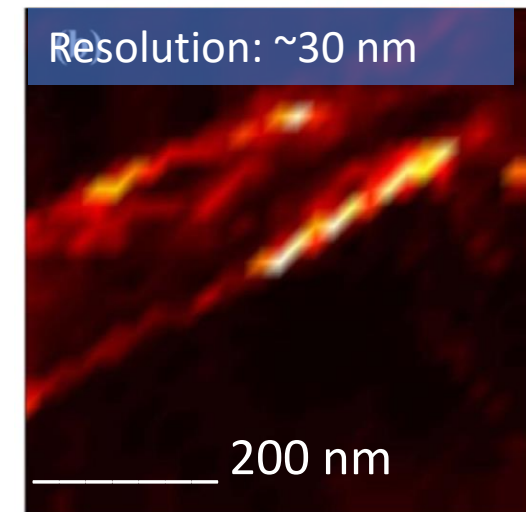


Chan K.L., Kazarian S.G., Nanotechnology 22, 175701 (2011)

NT-MDT, 2014,
Cantilever TERS probe



S. Kharintsev, G. Hoffmann, A. Fishman. & M. Salakhov J. Phys. D: Appl. Phys. 46 (2013) 145501



M. Zhang, J. Wang, Q. Tian, Optics Communications 315, 164 (2014)

Carbon nanotubes degraded by neutrophil myeloperoxidase induce less pulmonary inflammation

Valerian E. Kagan^{1*}, Nagarjun V. Konduru¹, Weihong Feng¹, Brett L. Allen², Jennifer Conroy³, Yuri Volkov³, Irina I. Vlasova¹, Natalia A. Belikova¹, Naveena Yanamala⁴, Alexander Kapralov¹, Yulia Y. Tyurina¹, Jingwen Shi⁵, Elena R. Kisin⁶, Ashley R. Murray⁶, Jonathan Franks⁷, Donna Stolz⁷, Pingping Gou², Judith Klein-Seetharaman⁴, Bengt Fadeel⁵, Alexander Star² and Anna A. Shvedova⁶

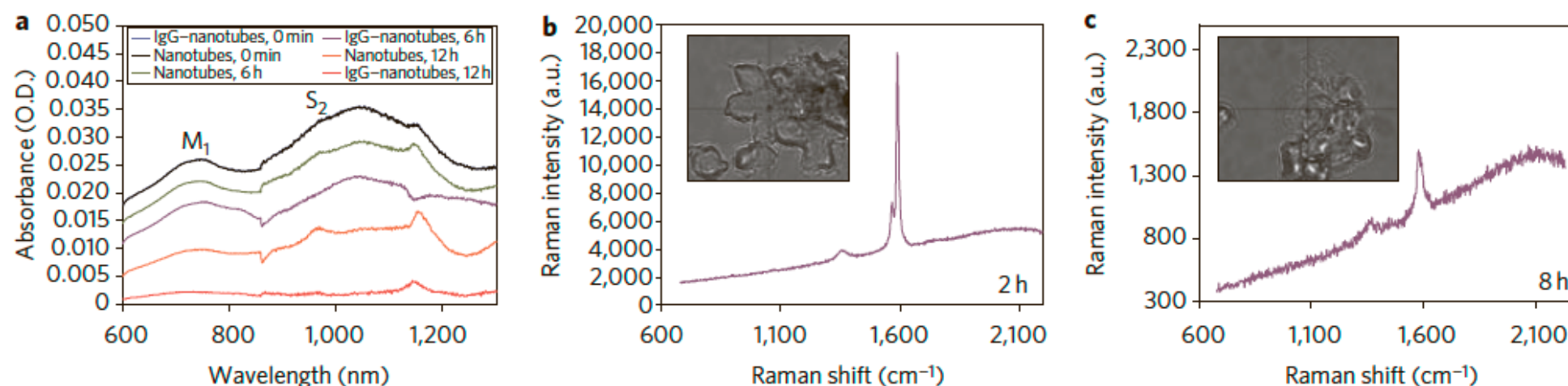
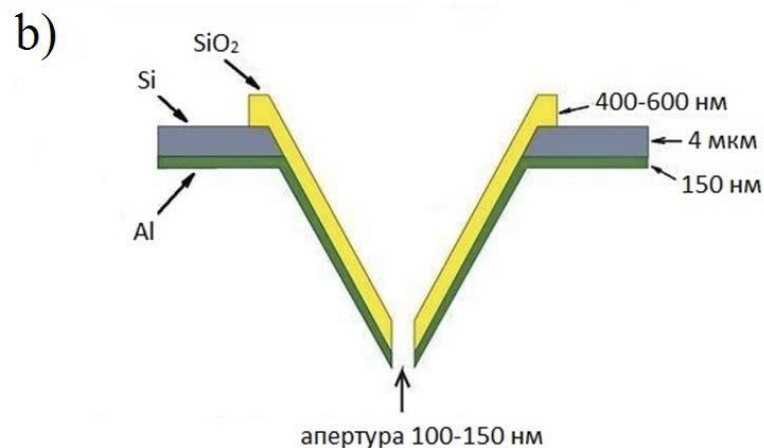
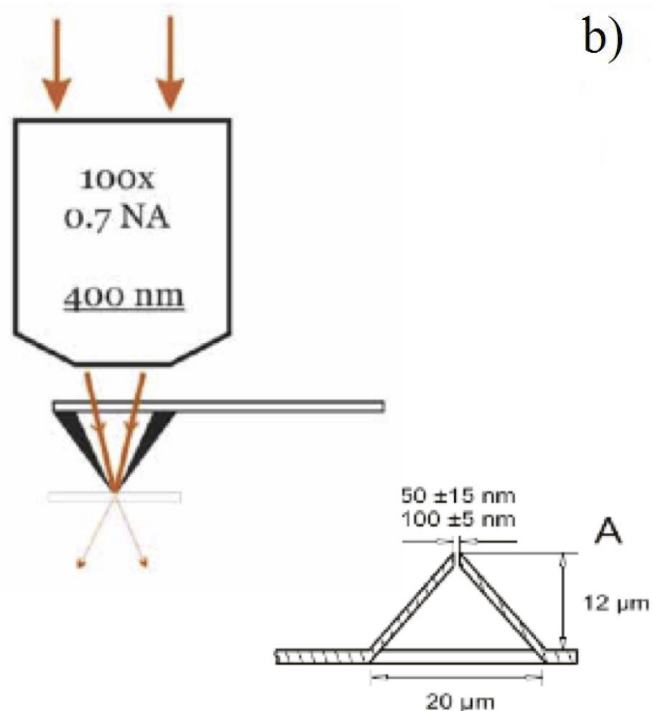


Figure 4 | Biodegradation of nanotubes in neutrophils evaluated by infrared and Raman spectroscopy. **a**, Vis-NIR spectra showing biodegradation of nanotubes and IgG-nanotubes by human neutrophils after 0, 6 and 12 h. O.D., optical density. **b,c**, Raman spectra (excitation, 473 nm) recorded from different areas of neutrophils containing IgG-nanotubes at 2 h (**b**) and 8 h (**c**). Inset shows bright-field image of the neutrophils with engulfed IgG-nanotubes. The Raman spectra (red lines) with their corresponding G- and D-bands recorded from different areas of neutrophils are indicated by the cross-wire on the bright-field images.

АСМ + Ближнепольная апертурная оптическая микроскопия

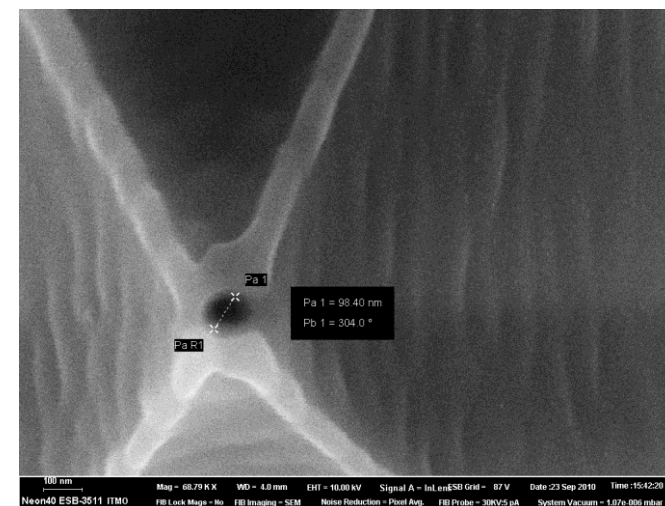
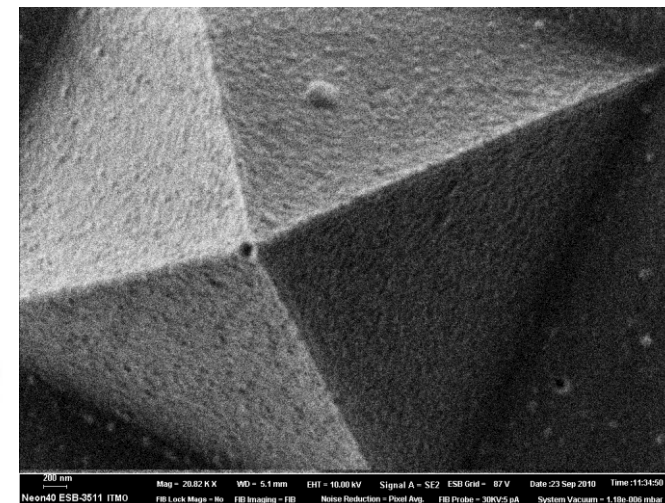
разрешение в режиме СБОМ от 70 нм

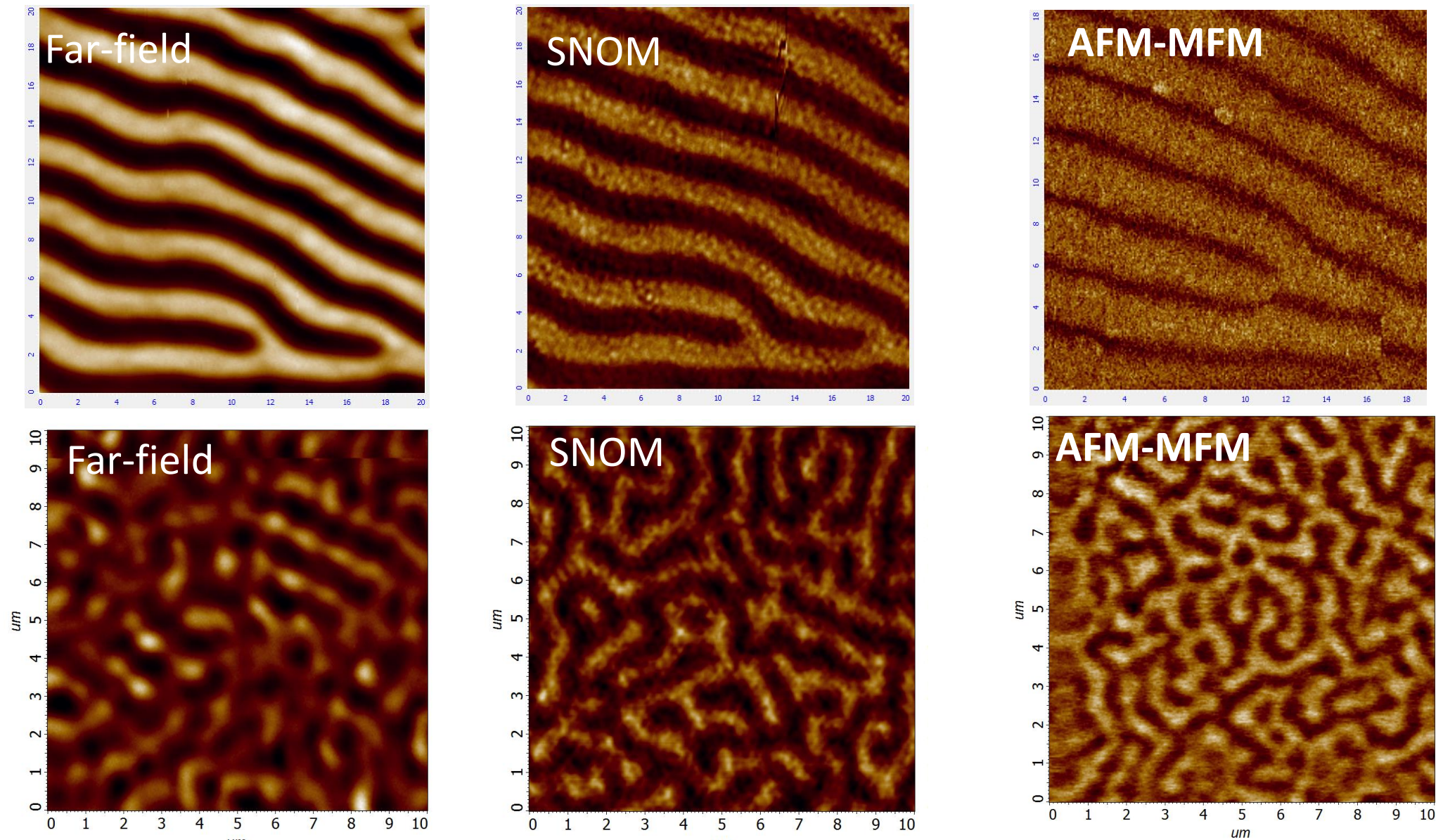
Silicon cantilevers with aperture



NT-MDT produces all hardware and software to work with such probes at all SNOM modes.

Кремниевые зонды для SNOM, апертура от 50 до 100 нм, MEMS with FIB Technology



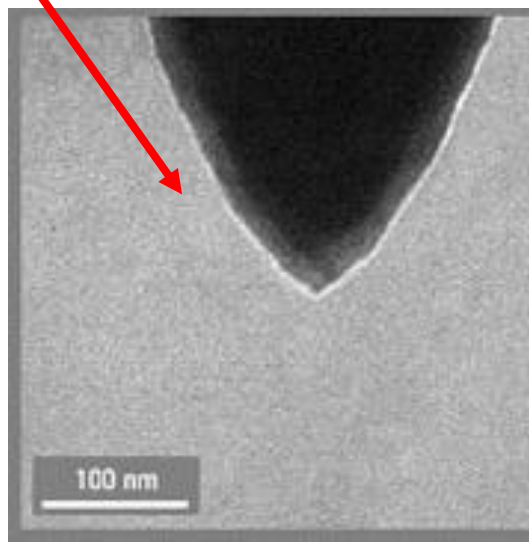
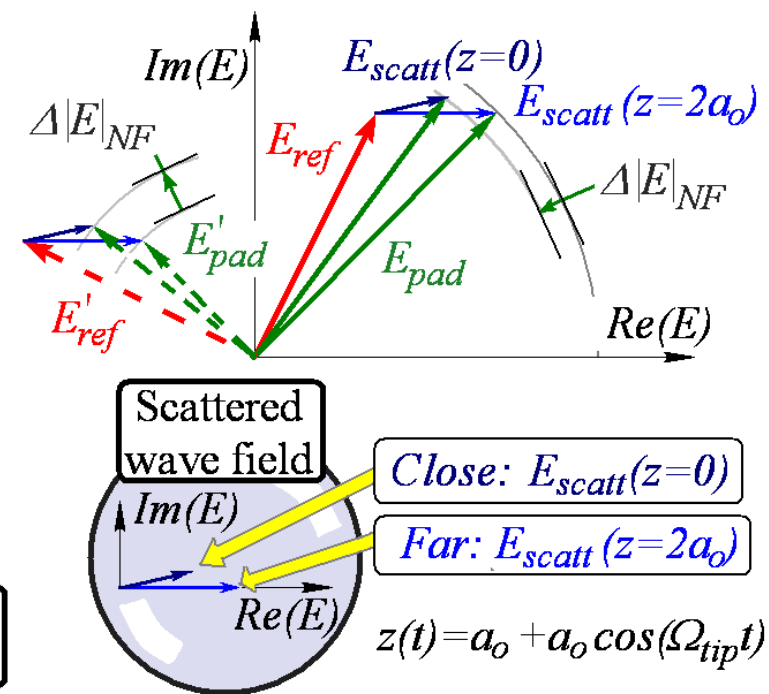
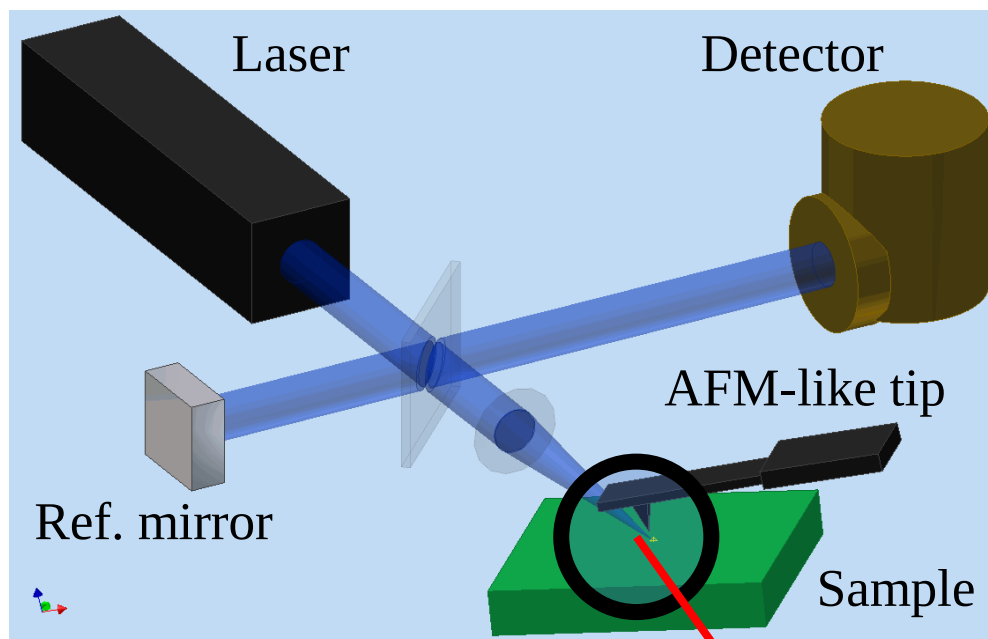


Far-field and near-field cross-polarization images from the same area of thin garnet film 20x20 μm (top) and 10x10 μm (bottom). 473 nm laser used. Comparison with MFM images from same sample (right).

Sample courtesy: T.V. Mikhailova, A.R. Prokopov, A.N. Shaposhnikov. Vernadsky Crimean Federal University

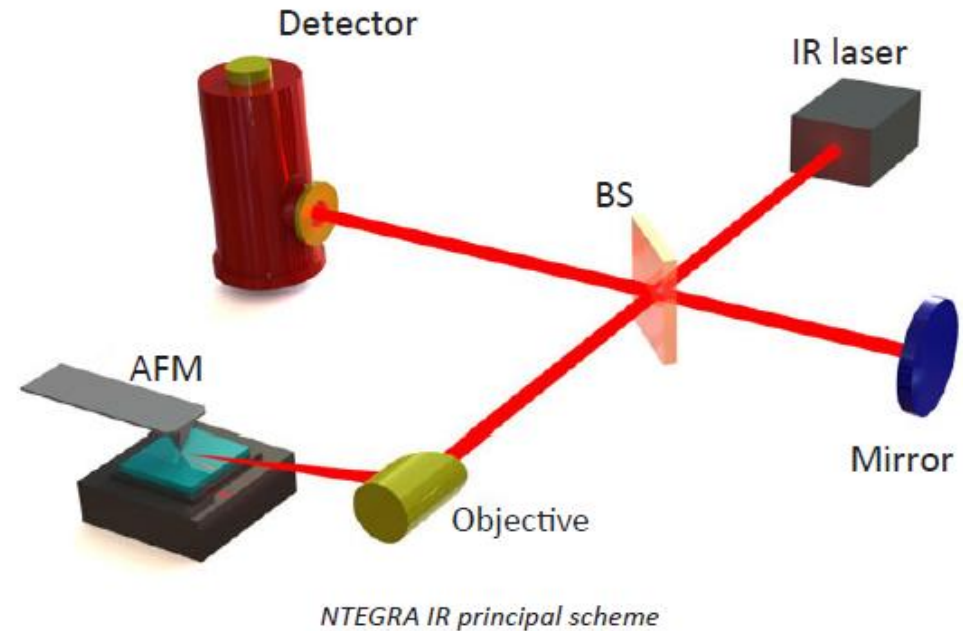
БЕЗАПЕРТУРНАЯ БЛИЖНЕПОЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ

**Зонд – КАНТИЛЕВЕР, РАЗРЕШЕНИЕ В РЕЖИМЕ SNOM порядка 10 нм!
РЕВОЛЮЦИЯ В СБОМ!**



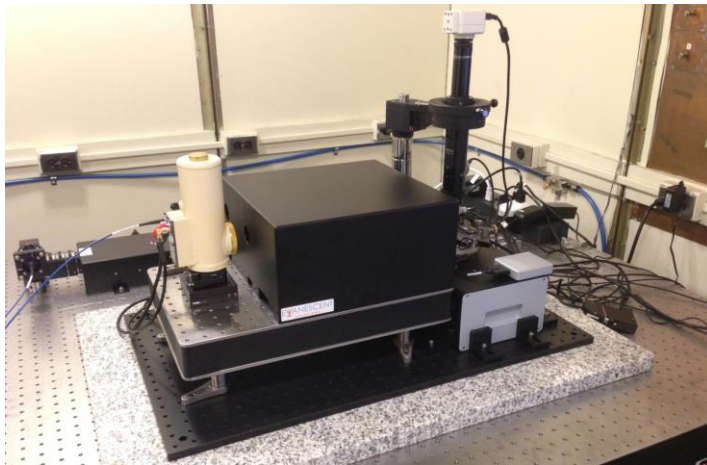
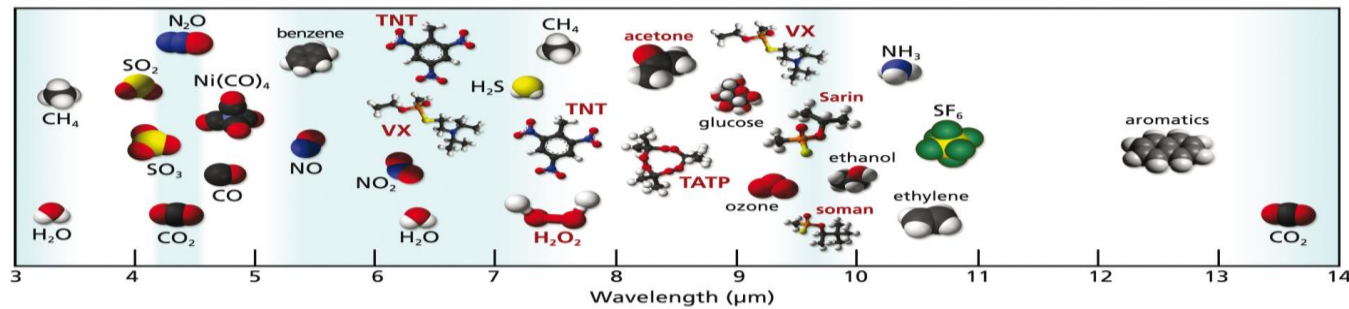
БЕЗАПЕРТУРНАЯ БЛИЖНЕПОЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ в ИК диапазоне

NTEGRA Nano IR



- IR s-SNOM microscopy and spectroscopy with 10 nm spatial resolution
- Wide spectral range of operation: 3-12 μm
- Incredibly low thermal drift and high signal stability
- Versatile AFM with advanced modes: SRI (conductivity), KPFM (surface potential), SCM (capacitance), MFM (magnetic properties), PFM (piezoelectric forces)
- HybriD Mode™ - quantitative nanomechanical mapping
- Integration with microRaman (optional)

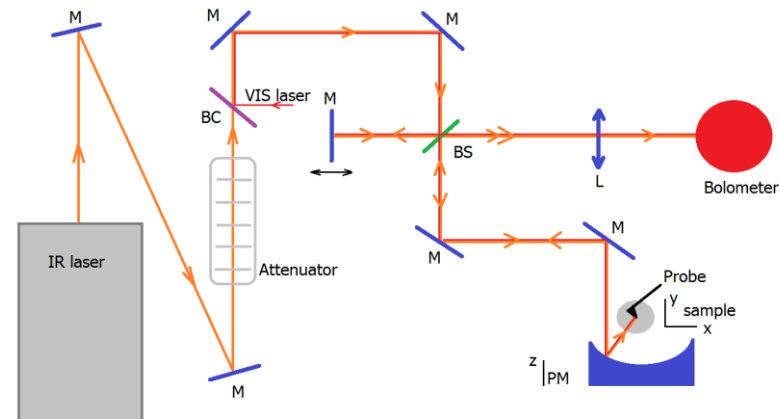
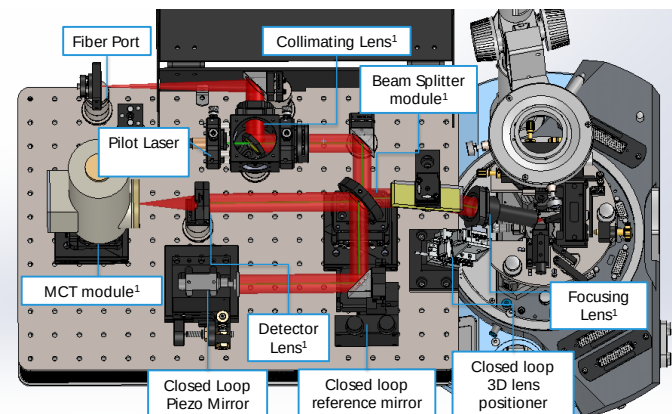
NTEGRA nano IR: s-SNOM technology



ИНТЕГРА nano-ИК (университет Стони Брук, NY)



Измерительная ACM-головка с доступом для параболического зеркала



Оптические схемы прибора: ввод излучения лазера по волокну с фокусировки рассеянного излучения через объектив (слева) и прямой ввод лазерного излу фокусировкой и сбором с помощью параболического зеркала (справа)

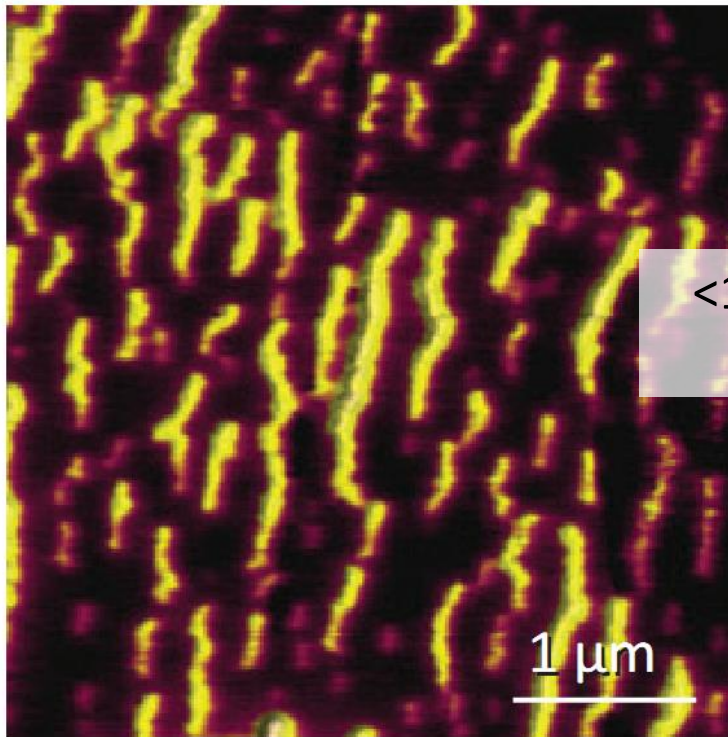
[NTEGRA](#) nanoIR by [#NTMDT](#) for scattering scanning near-field optical [#microscopy](#) (s-SNOM) and [#spectroscopy](#) with 10 nm spatial resolution for infrared (IR) spectral range.



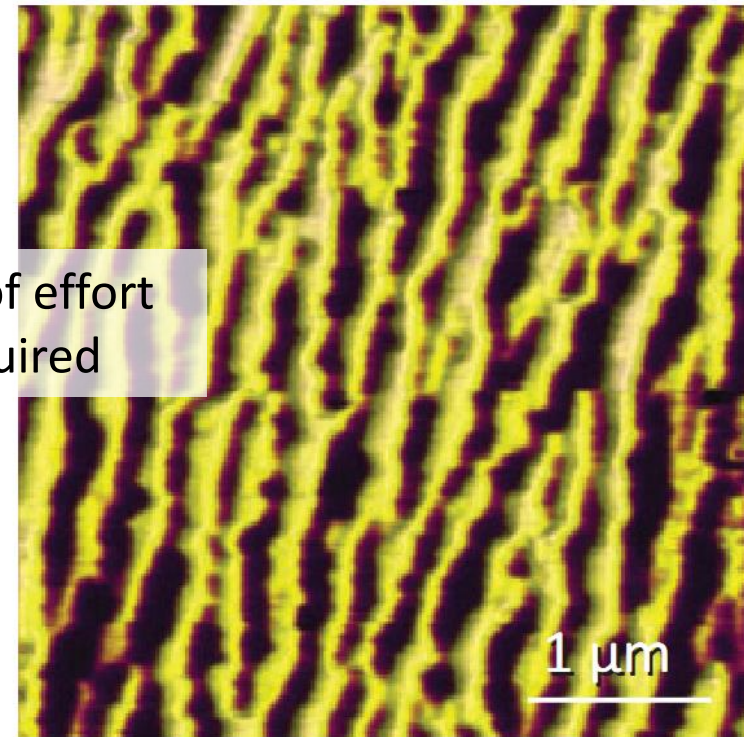
High Temperature AFM and s-SNOM on a Phase Changing Material: VO₂

IR s-SNOM Reflection

27C



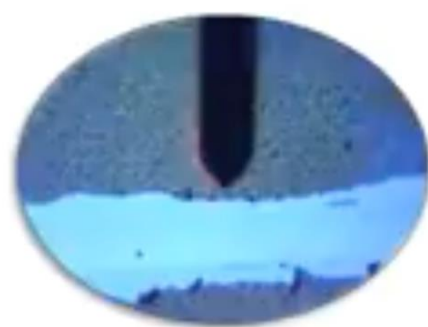
67C



<1hr of effort
required

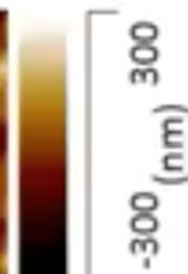
- Superior high temperature performance: under 1 hour needed to acquire images 40C apart. Compare to days on competitor's system
- Low drift and high signal stability: <1μm XY drift from 27 to 67C, no realignment of nanoReflection optics needed

FastSpectra: Reverse Osmosis Membrane



Optical Image

Height



IR image at 1660 cm^{-1}

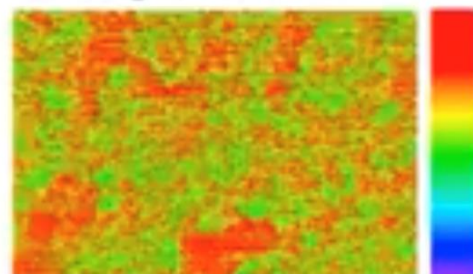
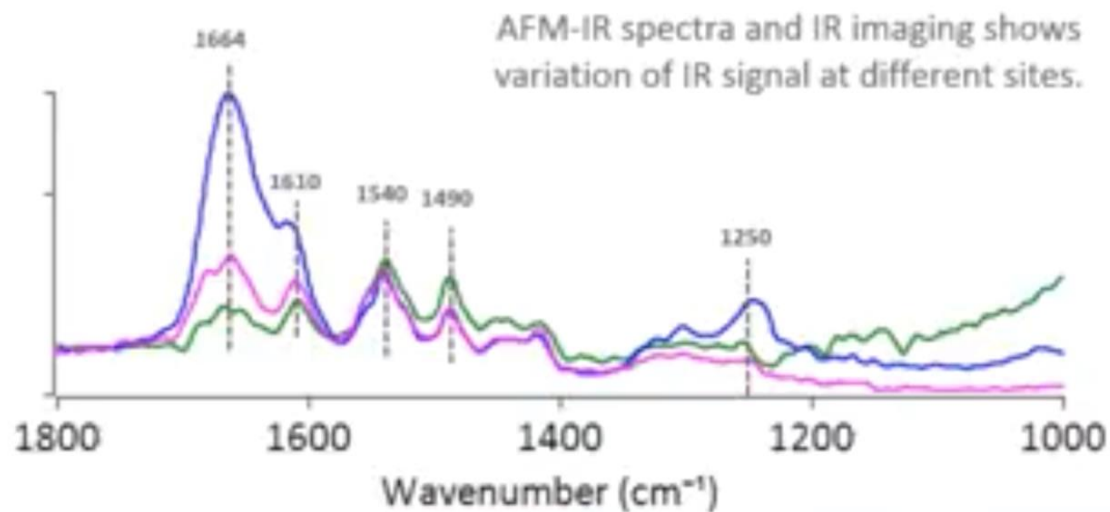
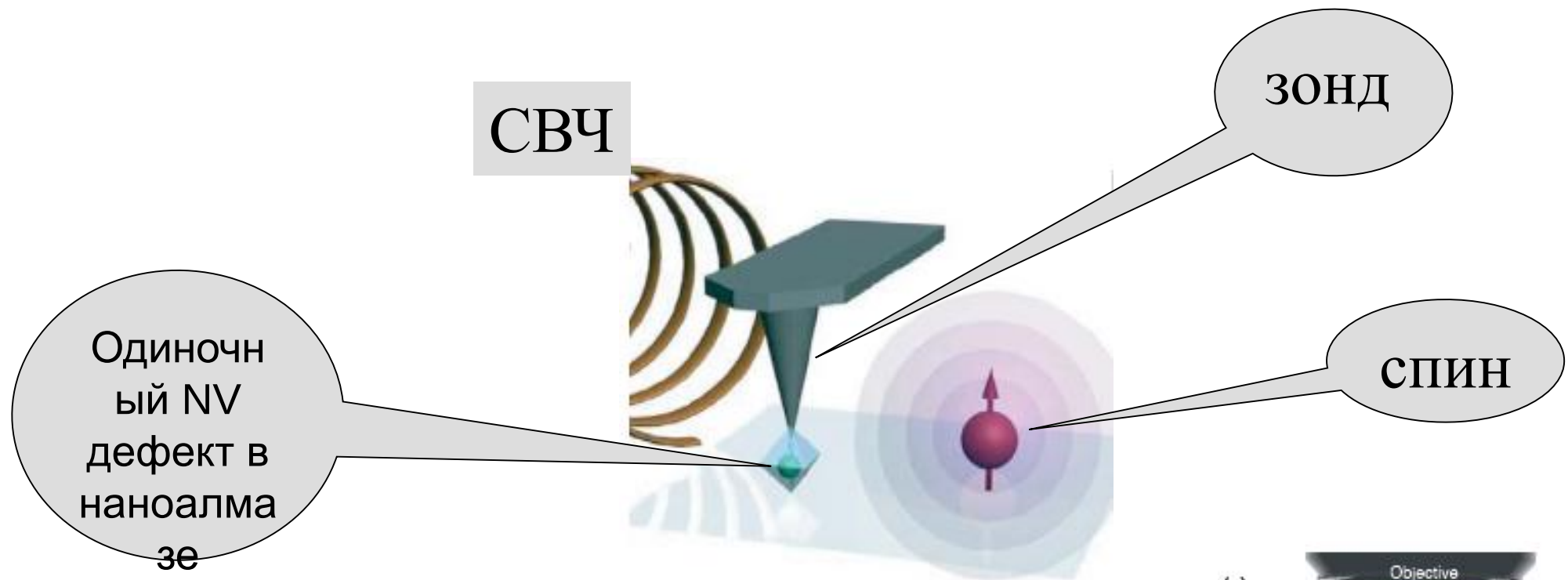


Image size: 15 μm x 10 μm

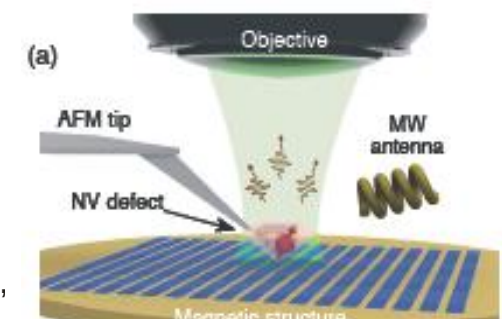


ОДМР сканирующий магнитометр с наноразмерным разрешением



G. Balasubramanian et al.,
NATURE 2008

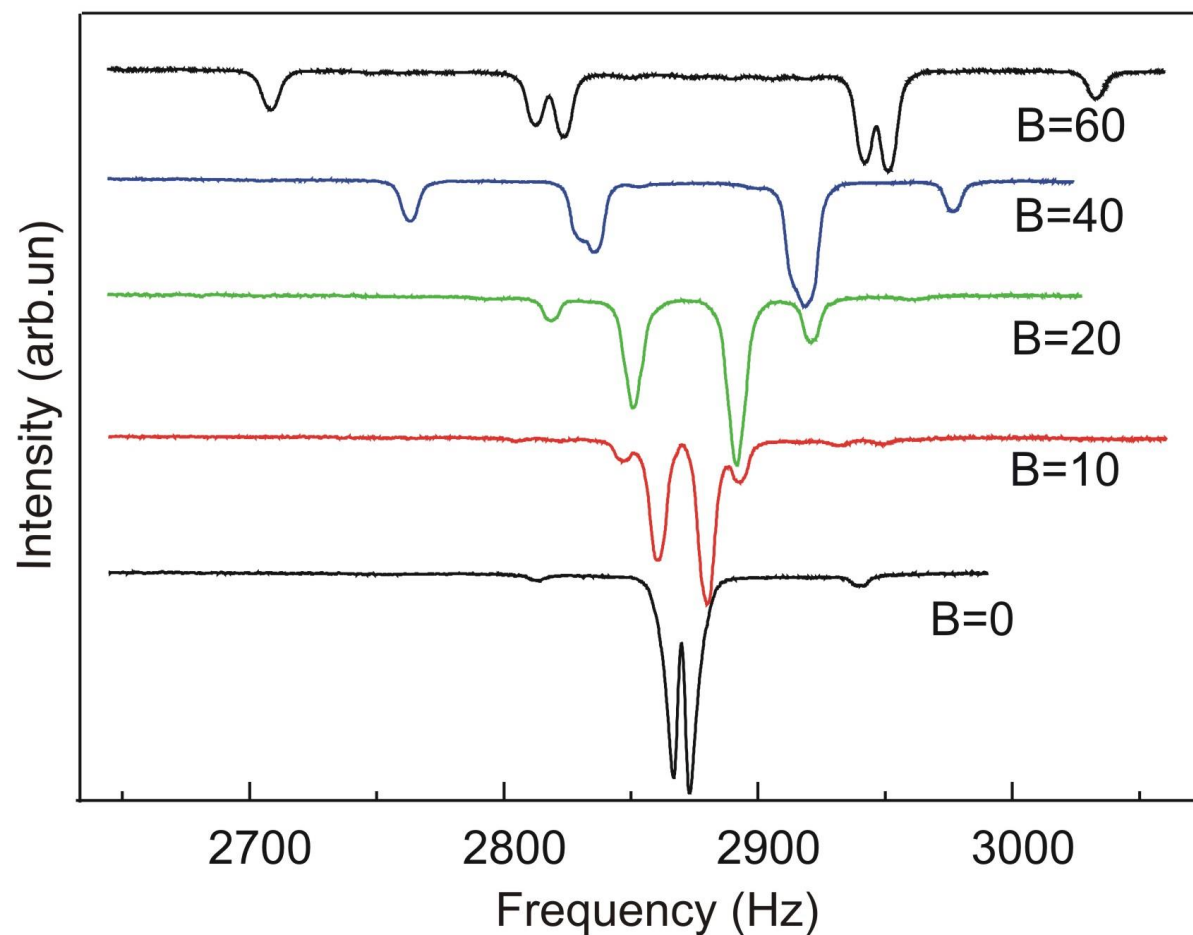
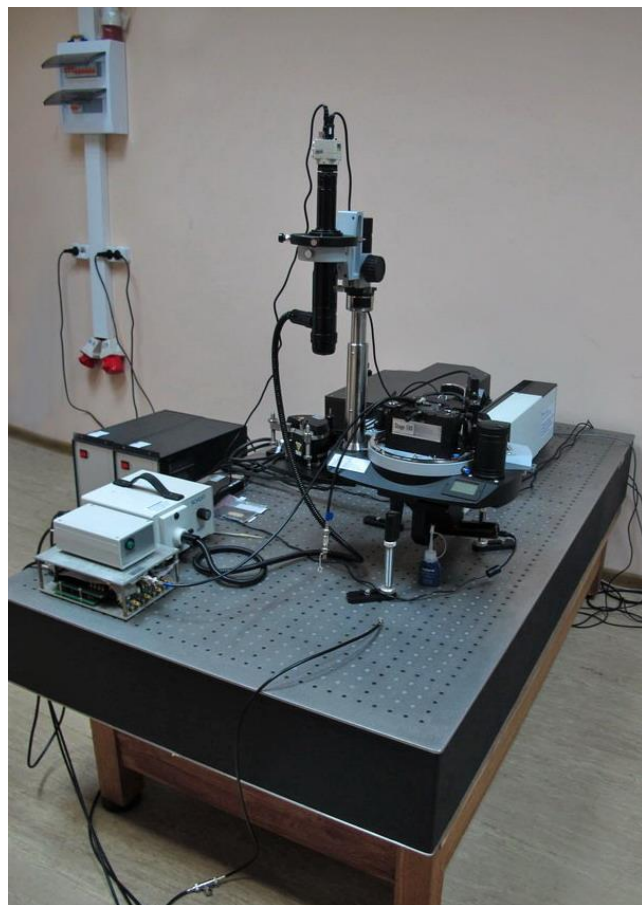
L. Rondin et al.,
arXiv: 2012



ОДМР позволяет достигать абсолютной чувствительности — регистрировать магнитный резонанс на одиночном квантовом объекте

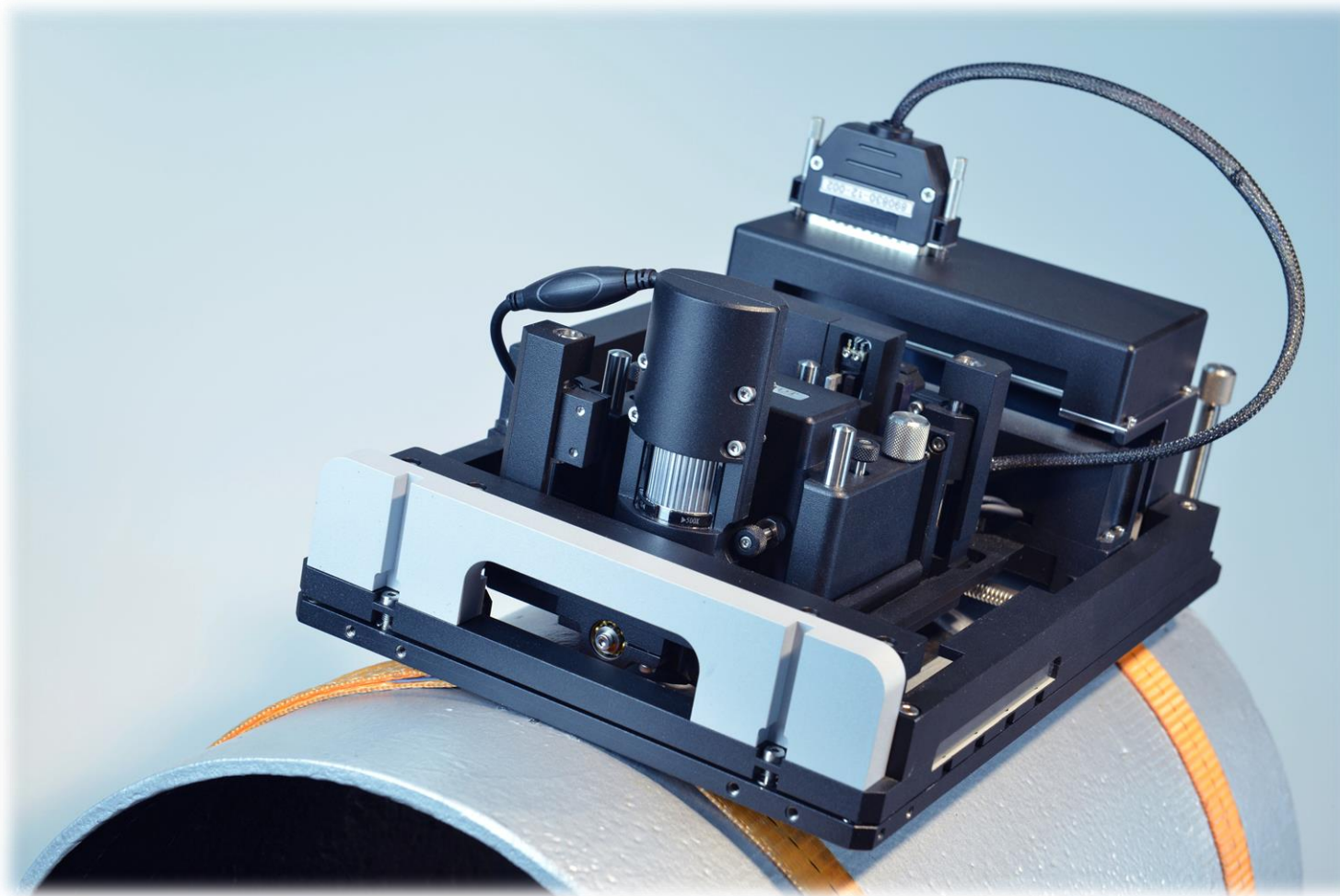
Зондово - оптический спектрометр магнитного резонанса
(ГК 2011-2012 гг., совместный проект ФТИ им.А.Ф. Иоффе -
НТ МДТ)

Spectroscopy of single NV defect in diamond



Зависимость спектров ОДМР NV дефектов от частоты при
различных значениях внешних магнитных полей

Первый в мире аппаратно-программный комплекс для диагностики состояния промышленных объектов и неразрушающего контроля



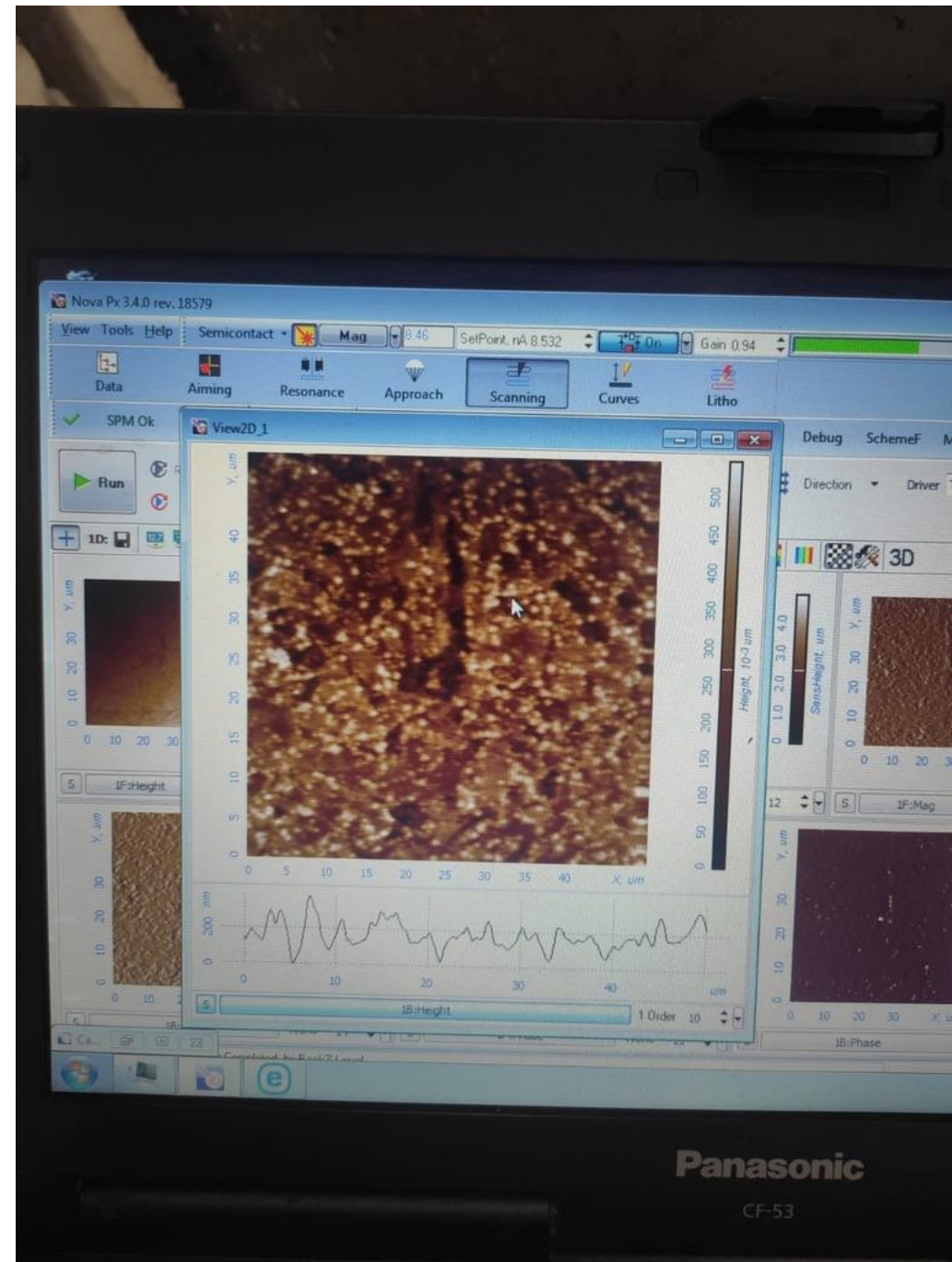
Февраль 2022, Quezon, Филиппины



Февраль 2022, Quezon, Филиппины



Февраль 2022, Quezon, Филиппины

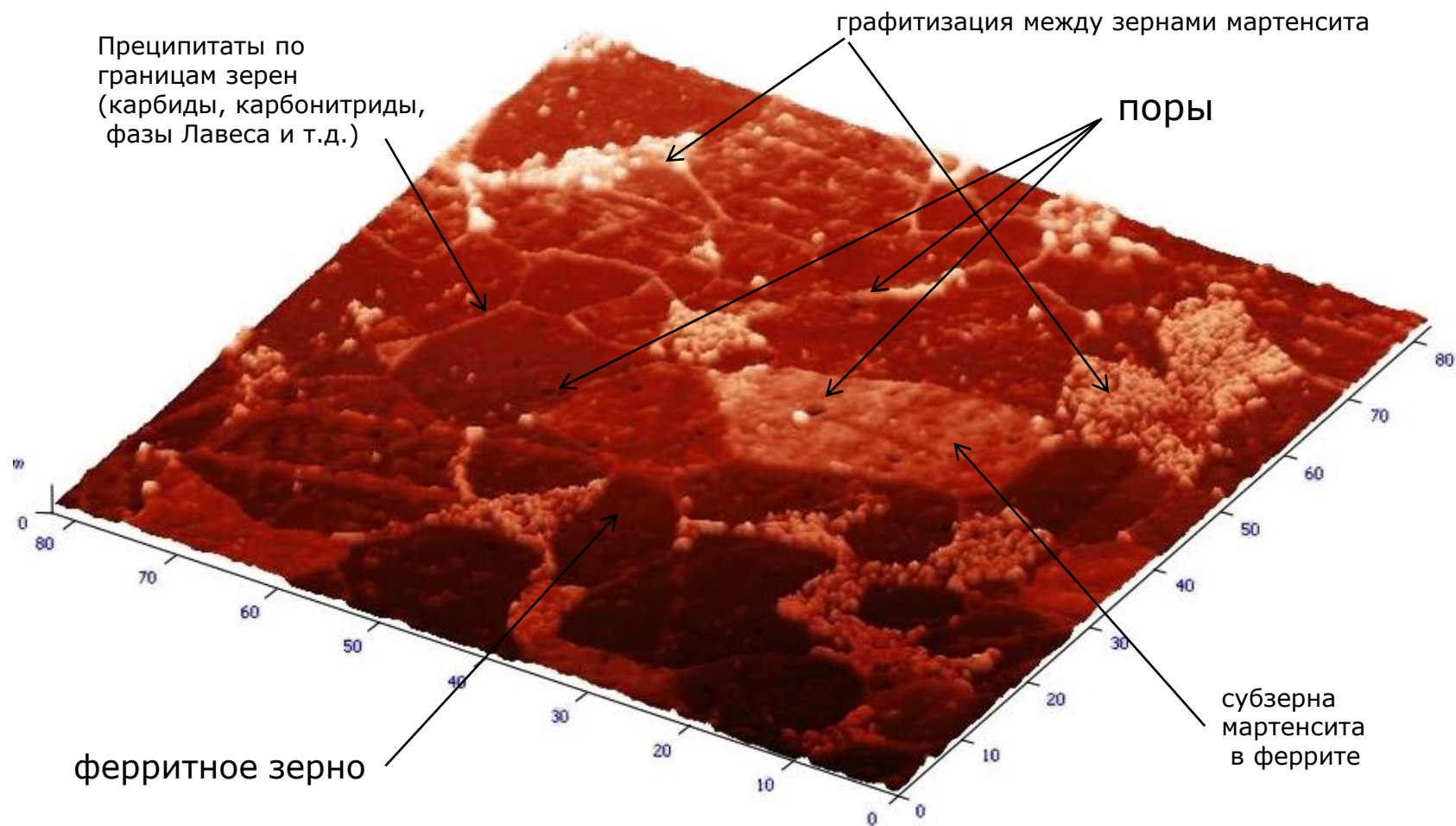


Эффект ползучести

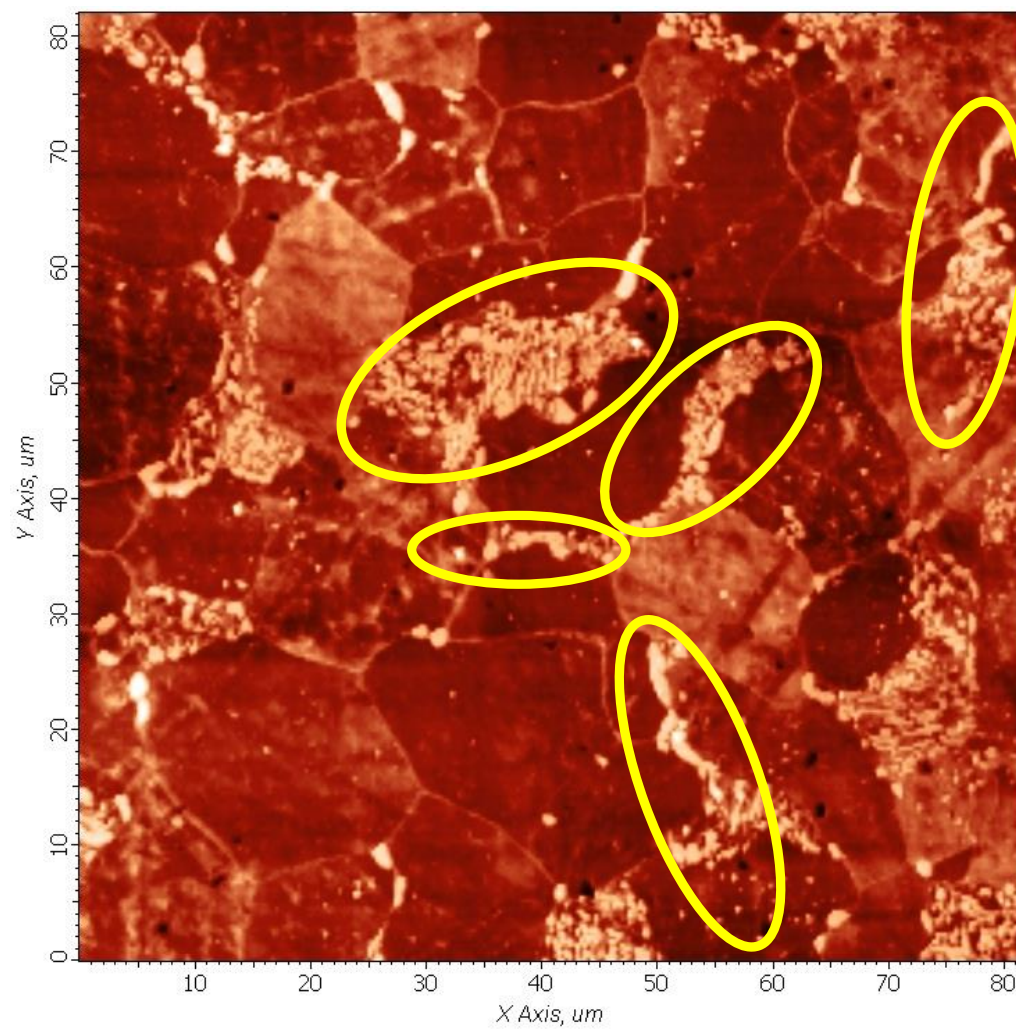
Ползучесть относится к зависящему от времени компоненту пластической деформации. Ползучесть является медленной и непрерывной пластической деформацией материалов в течение длительного периода времени под нагрузкой.



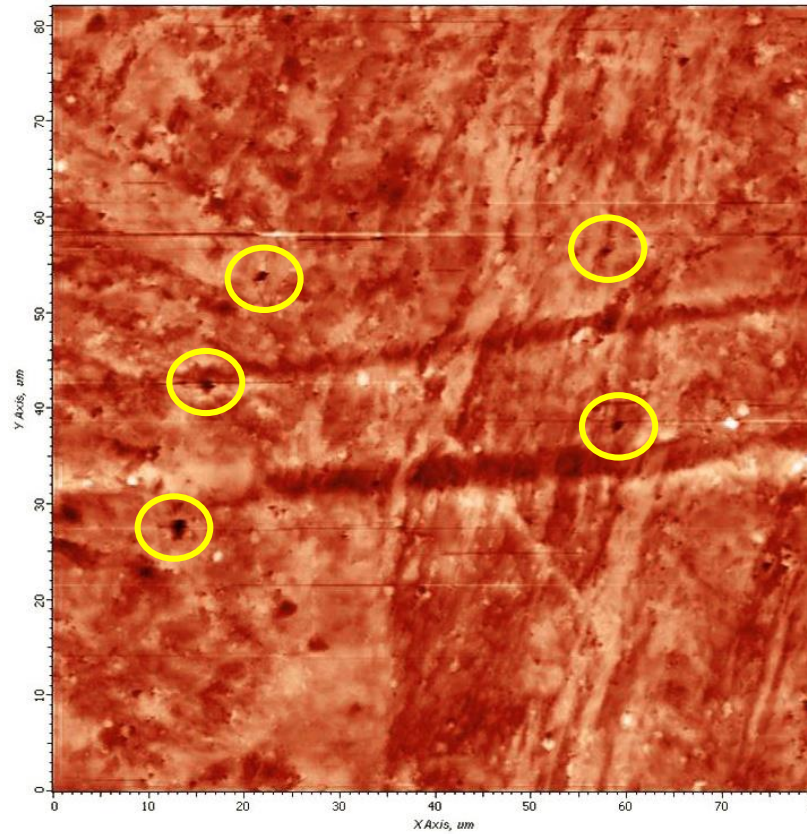
Типичное АСМ-изображение стали



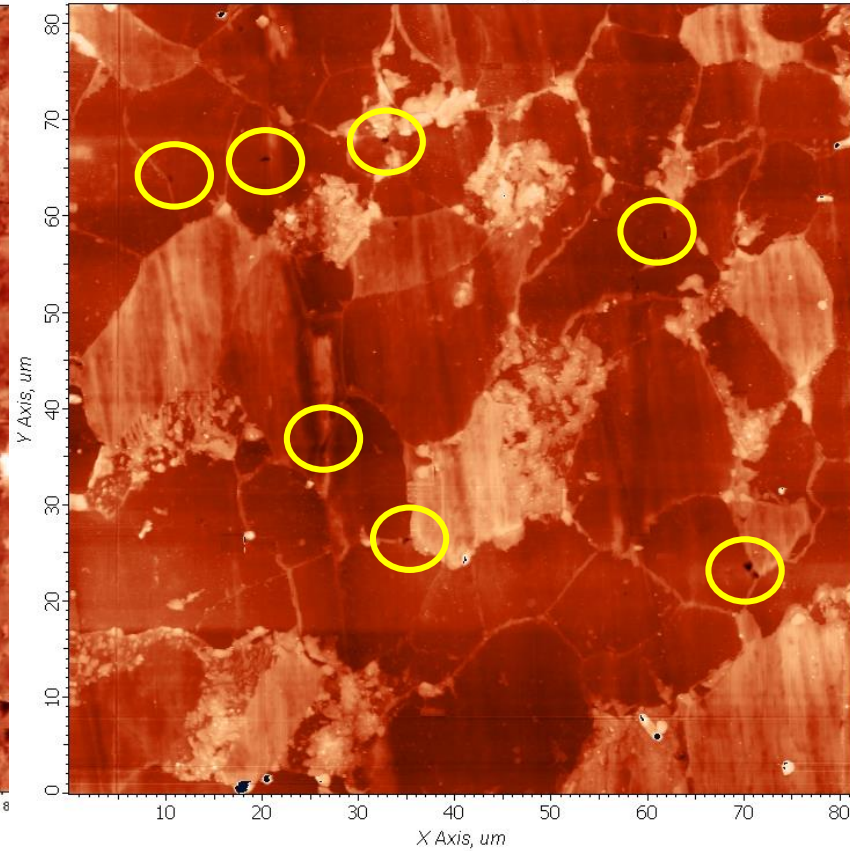
Сталь мартенситно-ферритного класса после
250000 часов эксплуатации (около 30 лет)



Прямое сканирование поверхности и Репликация



поверхность реплики



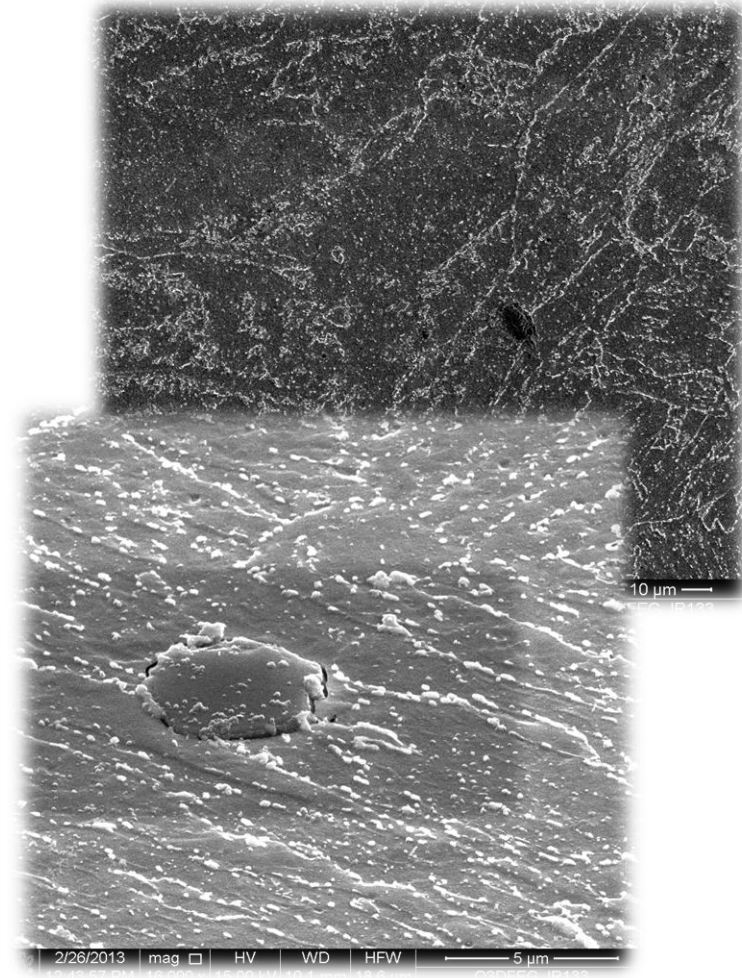
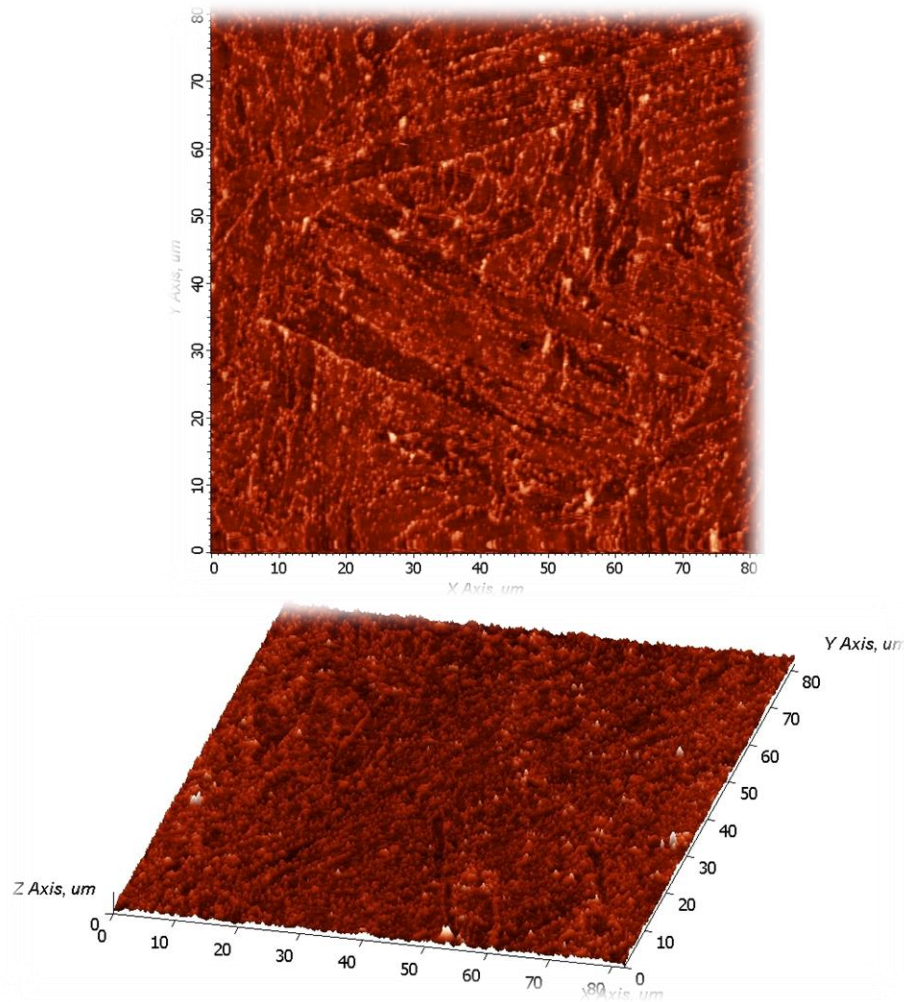
поверхность стали

АСМ-изображения поверхности мартенситно-ферритной стали.
Поры ползучести выделены желтыми овалами

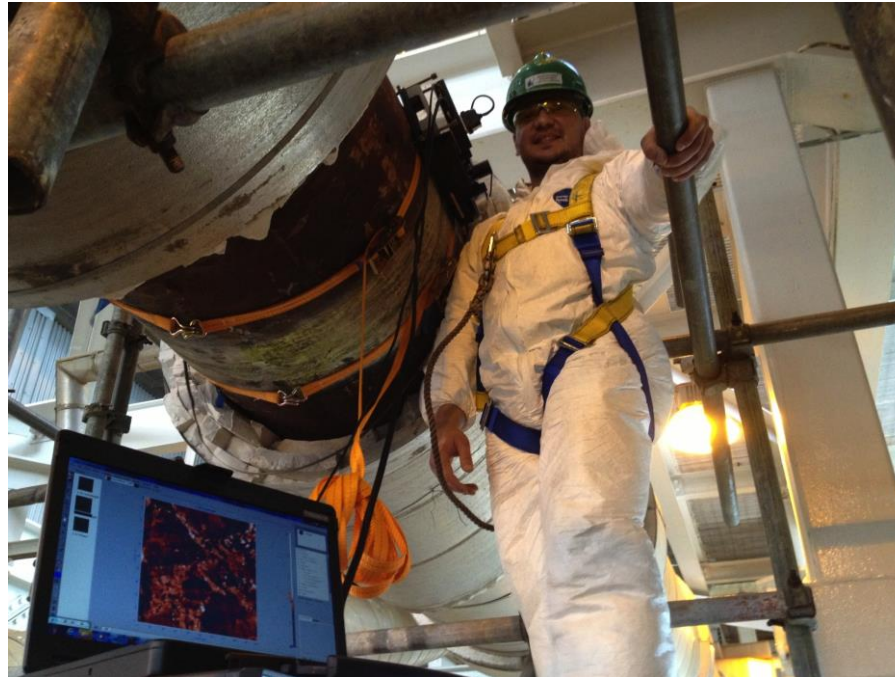
Типичная мартенситная структура (сталь Р91)

АСМ (изображение получено в «полевых» условиях)

СЭМ (изображение получено в лаборатории)



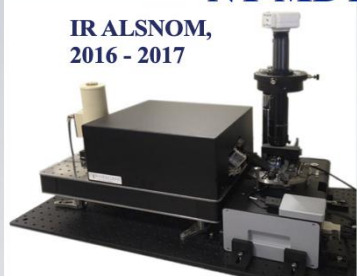
Аппаратно-программный комплекс Solver PIPE



1. Разработан первый в мире аппаратно-программный комплекс на основе атомно-силового микроскопа для ранней диагностики состояния промышленных объектов и неразрушающего контроля материалов.
2. Разработана методика раннего предупреждения по обнаружению дефектов ползучести.
3. АПК рекомендован для проведения диагностики состояния методом неразрушающего контроля (метод «прямого» сканирования поверхности промышленных объектов).

NT-MDT Spectrum Instruments Продуктовая линия 2021

IR ALSNOM,
2016 - 2017



СОЛВЕР НЕКСТ

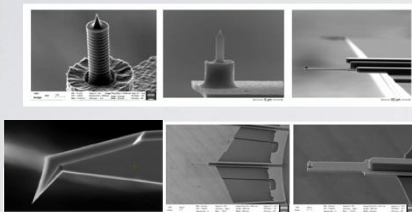
Полностью автоматизированный АСМ / СТМ
для широкого круга исследований



ИНТЕГРА-СПЕКТРА-4Р 2016



polySi-Technology, R - 3-5 nm



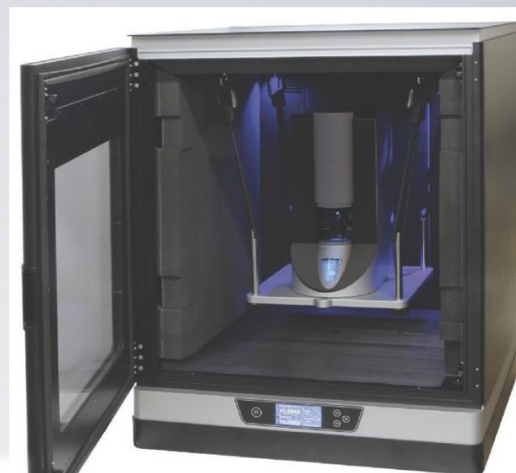
Новые типы кантилеверов (2015 - 2016 г.г.)



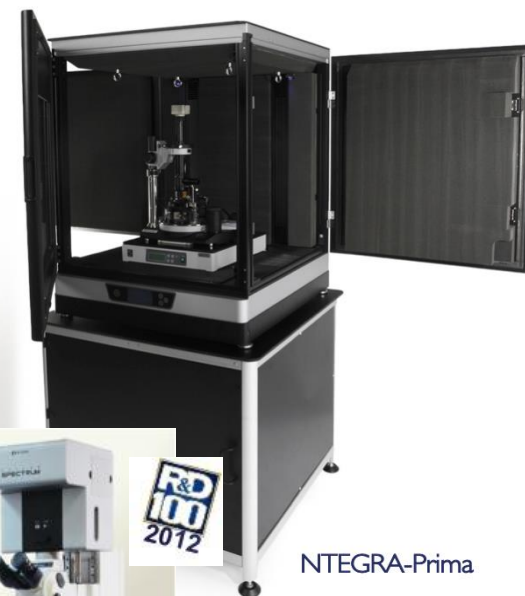
SOLVER-Pipe -2017



2019



ТИТАНИУМ 2016



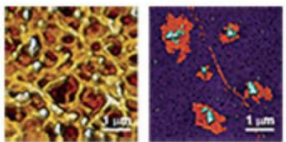
NTEGRA-Prima



ScanTronic™



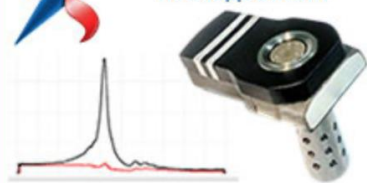
Получите АСМ
с первой в мире
системой самообучения



RapidScan™



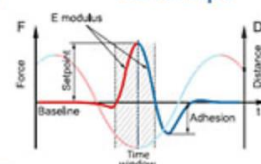
Ускорьте темп ваших
исследований



HybridMode™



Расширьте
восприятие
наномира



Chapter Eight Manufacturers Profiles

8.1 Bruker Corporation

8.2 NT-MDT SI

8.3 Keysight Technologies

8.4 Park Systems

8.5 JPK Instruments

8.6 Witec

8.7 Asylum Research(Oxford Instruments)

8.8 Nanonics Imaging

8.9 Nanosurf

8.10 Hitachi High-Technologies

8.11 Anasys Instruments

8.12 RHK Technology

8.13 A.P.E. Research

The following manufacturers are analyzed independently in the report:

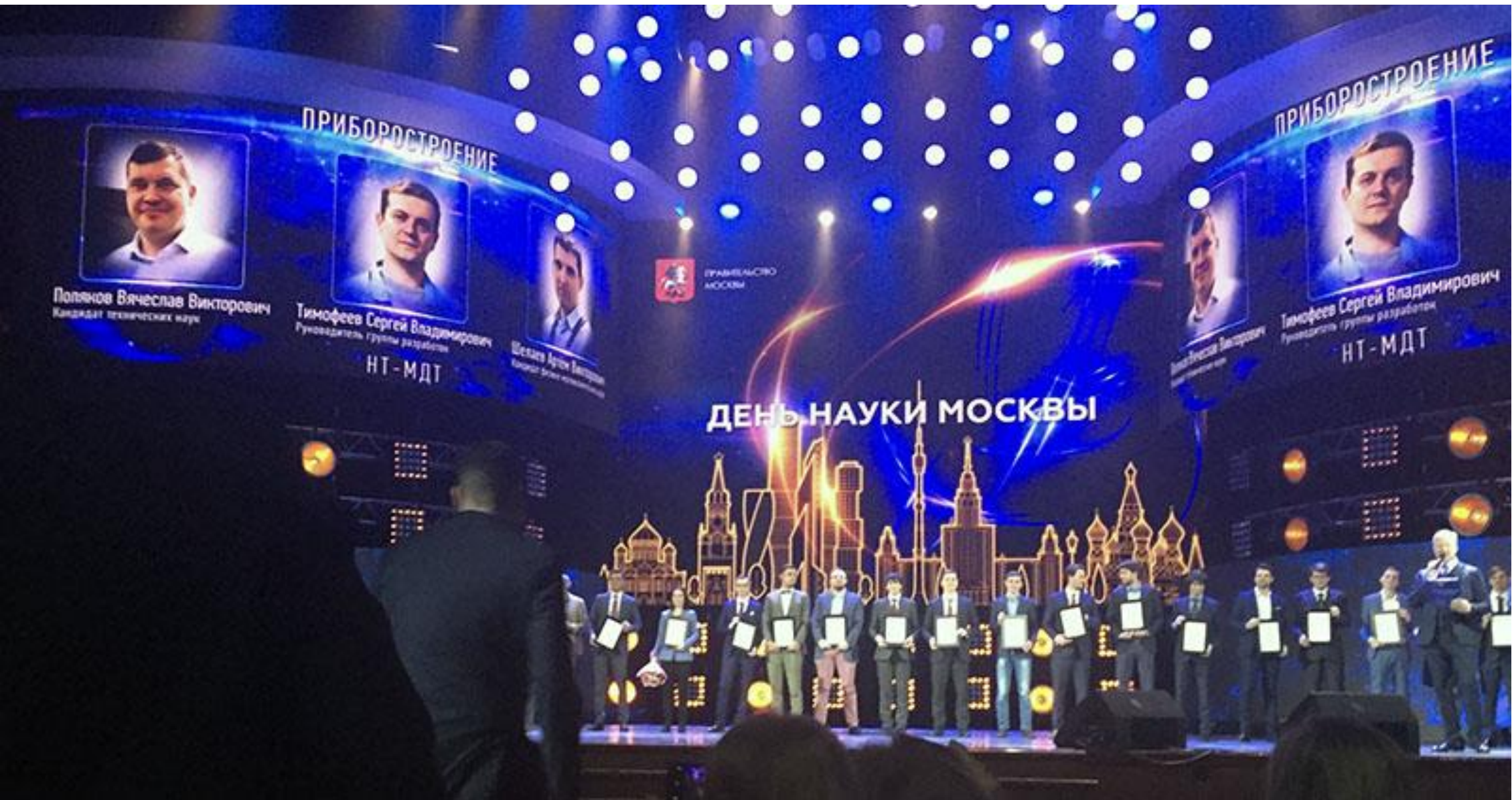
- 1. NanoWorld AG**
- 2. Bruker**
- 3. NT-MDT**
- 4. Asylum Research (Oxford Instruments)**
- 5. Olympus**
- 6. Advanced Diamond Technologies**
- 7. AppNano**
- 8. Team Nanotec GmbH**
- 9. NaugaNeedles**
- 10. SmartTip**
- 11.**
- 12. ...**

КОМПЛАЙНС

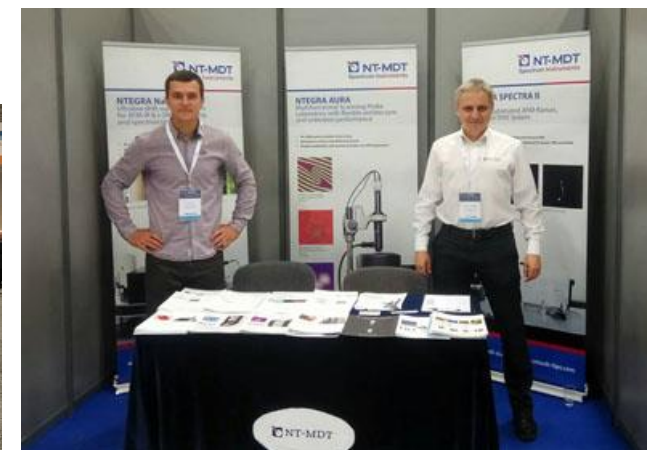
- При росте бизнеса, увеличения его веса на Мировом рынке, возможна подрывная активность со стороны конкурентов. Работа НТ-МДТ даже на Российском рынке принесла урон конкурентам не менее, чем на 100 млн.\$, что инициировало активность некоторых с желанием или перекупить или обанкротить компанию, что вынуждает тратить не малые средства и время на борьбу.
- Используются и свойства и Российского законодательства – например, 44-го закона – покупай, что дешевле и никак иначе.
- В результате покупателю через отделы продаж может быть поставлена не качественная или устаревшая продукция, а отделы продаж в отличии от научной

ВРУЧЕНИЕ ПРЕМИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ МОЛОДЫМ УЧЕНЫМ ООО «НТ-МДТ»

10.02.2019

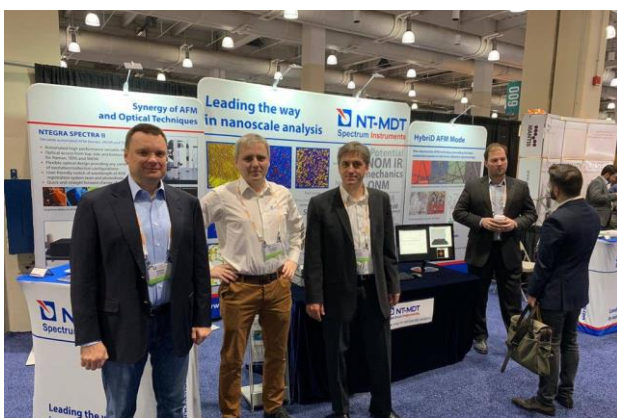


NT-MDT SI на MRS-2017 (29 ноября – 1 декабря)



Иван Быков и Станислав Леесмент на
стенде
выставки E-MRS, Страсбург
07.07.2018

NT-MDT SI на MRS-2018 (25-30 ноября)



ASU Arizona State University **TU/e** Eindhoven University of Technology **UAB** THE UNIVERSITY OF ALABAMA AT BIRMINGHAM

MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KOLLOID- UND
GRENZFLÄCHENFORSCHUNG



Санкт-Петербургский
государственный
университет



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

OAK RIDGE
National Laboratory



Massachusetts
Institute of
Technology

ДФУ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



BASF



Fraunhofer

CHAPMAN
UNIVERSITY



NPL
National Physical Laboratory



AMD
The future is fusion

**Крупные ПОЛЬЗОВАТЕЛИ
ПРИБОРОВ КОМПАНИИ**



NT-MDT®



SEAGATE

מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE



OntarioTech
UNIVERSITY



N* Новосибирский
государственный
университет



**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



The University of Dublin



UNICAMP



北京工业大学
BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Cinvestav
UNIDAD MERIDA

Johnson & Johnson



МИСиС
Университет науки и технологий



College of Chemistry and Molecular Engineering
PEKING UNIVERSITY

School of Economics, Business Administration
and Accounting at Ribeirão Preto
University of São Paulo



National University
of Singapore



National Taiwan Normal University



РОСАТОМ



1943



innovia
FILMS



Chevron
Phillips
Chemical Company



BERKELEY LAB

**UNIVERSITY
OF ONTARIO**
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

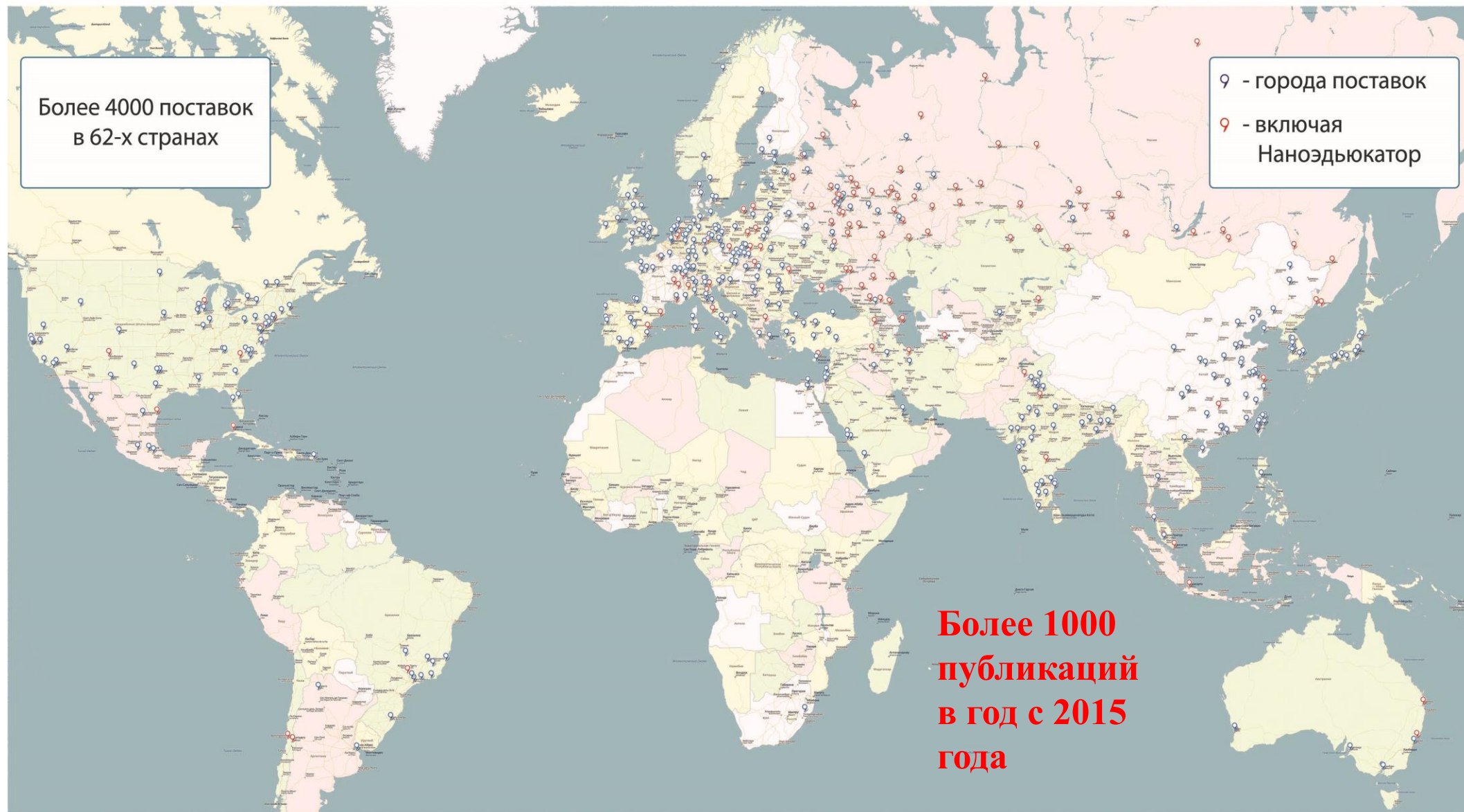


Санкт-Петербургский
государственный
технологический
институт



**Физико-
технический
институт
им. А.Ф. Иоффе**

География поставок оборудования по России и миру



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

