



**«Нанотехнологические системы»**

# **ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

---

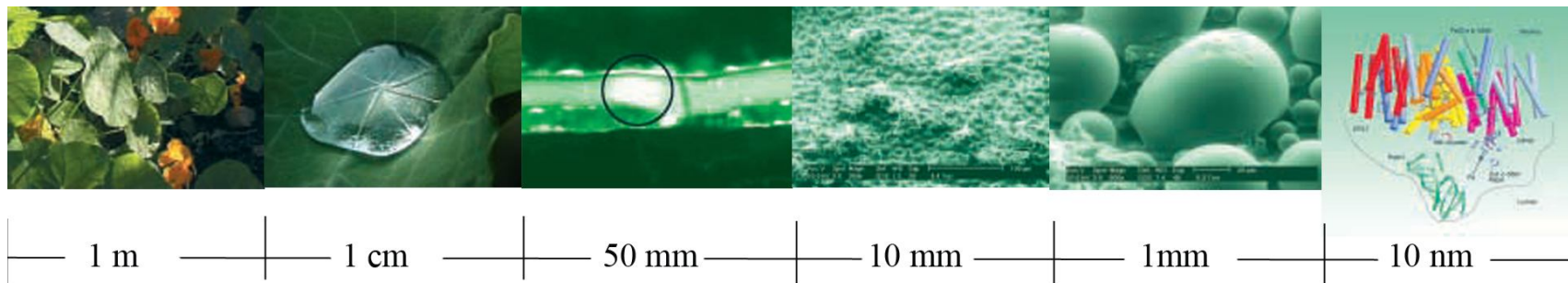
**Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства ЭА»**

## «Нанотехнологические системы»

Термин **Нанотехнология (Nanotechnology)** был введен в 1974 г. Норио Танигучи, который определил его как "технология производства, позволяющая достигать сверхвысокую точность и ультрамалые размеры порядка 1 нм".

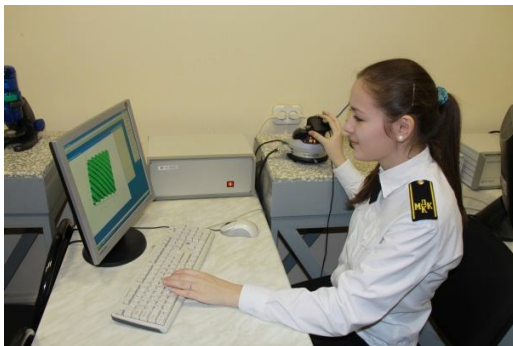
Один нанометр (**нм**) – это одна миллиардная часть метра ( $10^{-9}$  м)

«*нано*» происходит от греч. «*нанос*» = **карлик**



Нанотехнологии "совокупность приёмов и способов получения, обработки или переработки сырья, материалов, характерные размеры, либо точности изготовления которых составляют величины на уровне или ниже 100 нм.

## «Нанотехнологические системы»



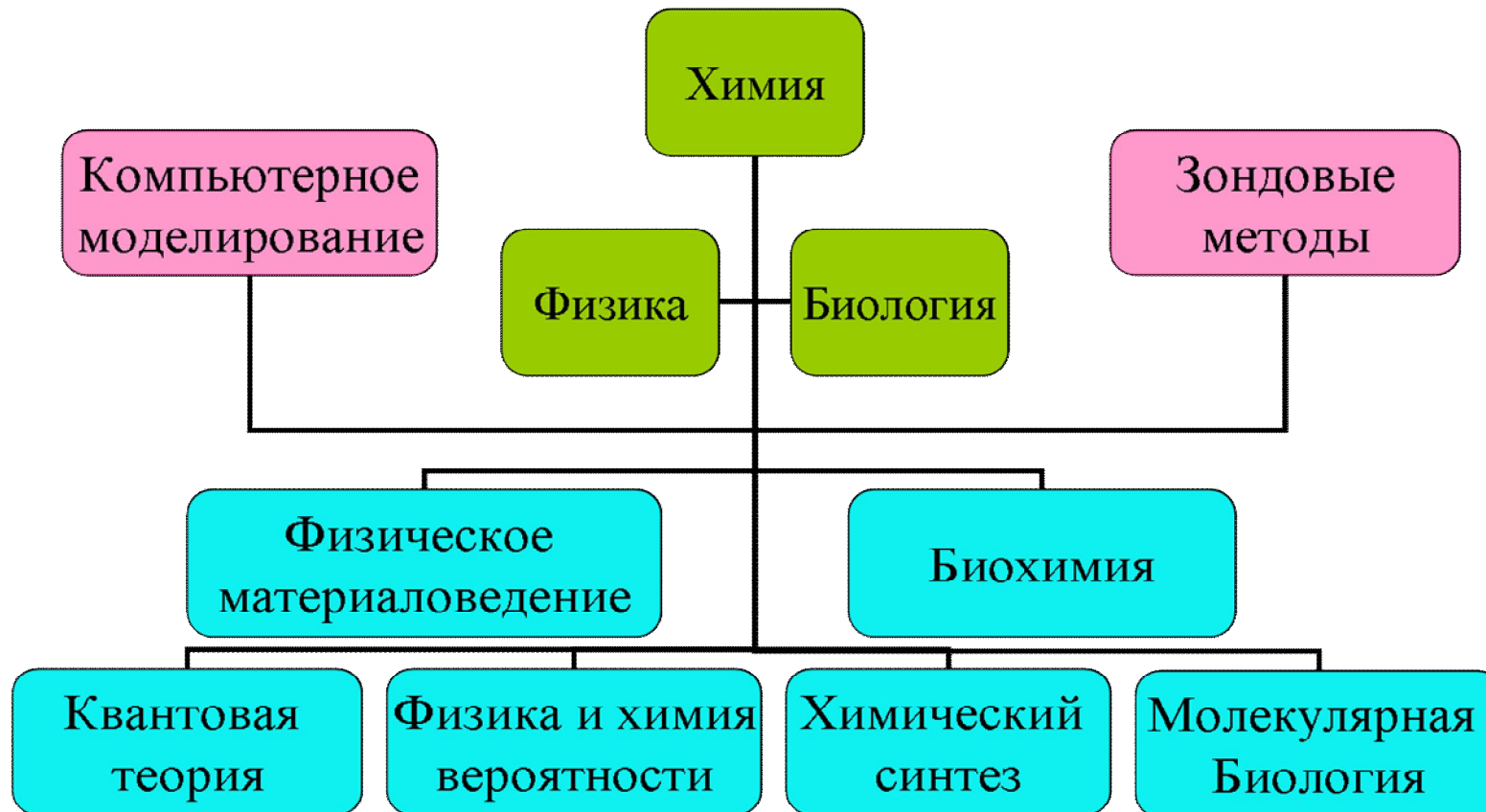
Лаборатория специализируется на проведении исследований микро и наноструктур.

Среди разработок лаборатории:

1. Углеродные материалы: графен, углеродные нанотрубки (УНТ).
2. Электрохромные покрытия оптических систем
3. Дефектоскопия CD/DVD дисков,
4. Фильтры Фабри Перо высокой разрешающей способности,
5. Разработка нейросетевых методов распознавания изображений при дефектоскопии проводящих микро- и наноструктур,
6. Разработка активных виброзащитных систем от низкочастотной вибрации нанотехнологических измерительных комплексов и т.п.

## «Нанотехнологические системы»

Изучение наноструктур и наноматериалов, как направление нанотехнологических и нанонаучных изысканий, базируется на нескольких фундаментальных и прикладных науках, а также на исследовательских методиках.

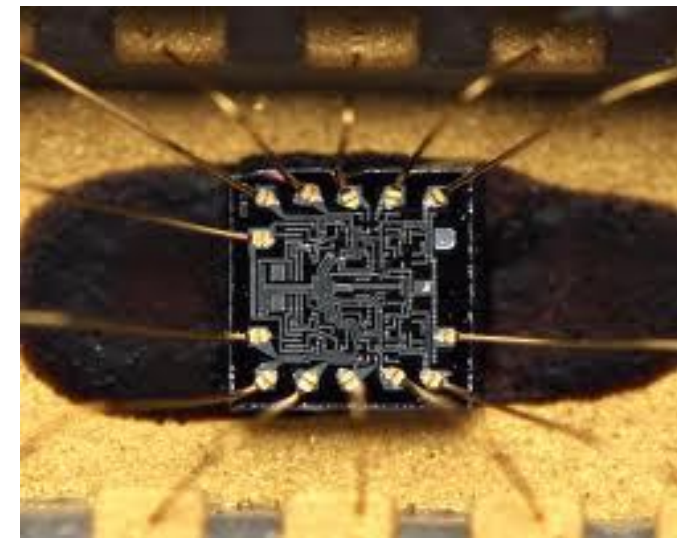
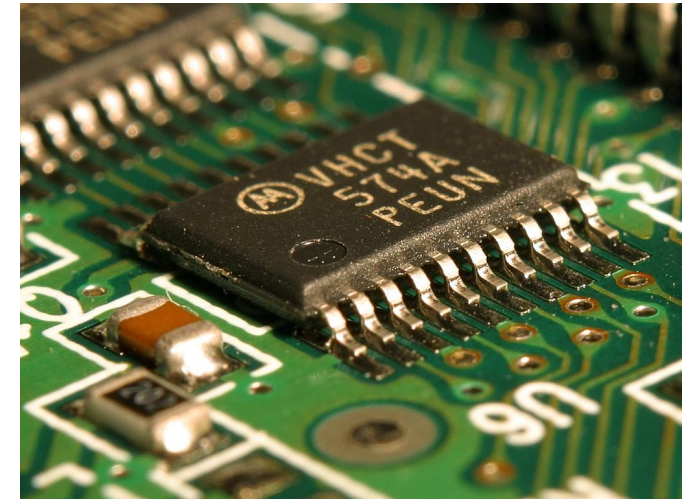


## «Нанотехнологические системы»

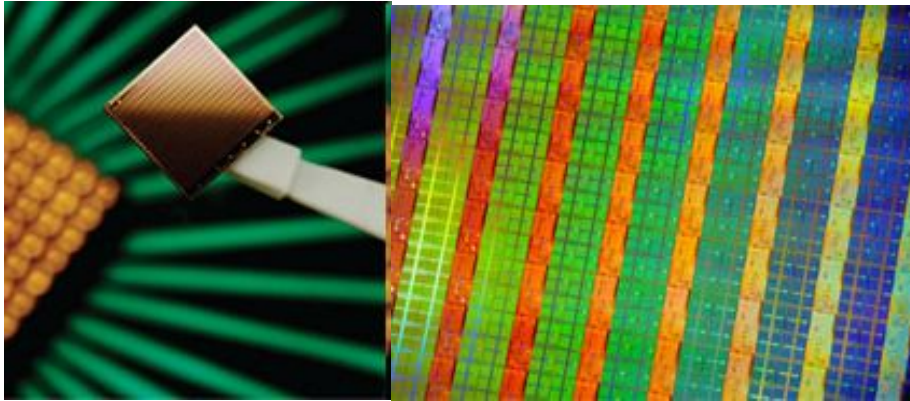
Кристалл микроэлектронике — размещённая на полупроводниковой пластине или плёнке электронная схема произвольной сложности.

В процессе сборки упаковывается в корпус и в результате образует готовое изделие — микросхему.

Интегральная (микро)схема — микроэлектронное устройство — электронная схема произвольной сложности (кристалл), изготовленная на полупроводниковой подложке (пластине или плёнке) и помещённая в неразборный корпус, или без такового, в случае вхождения в состав микросборки



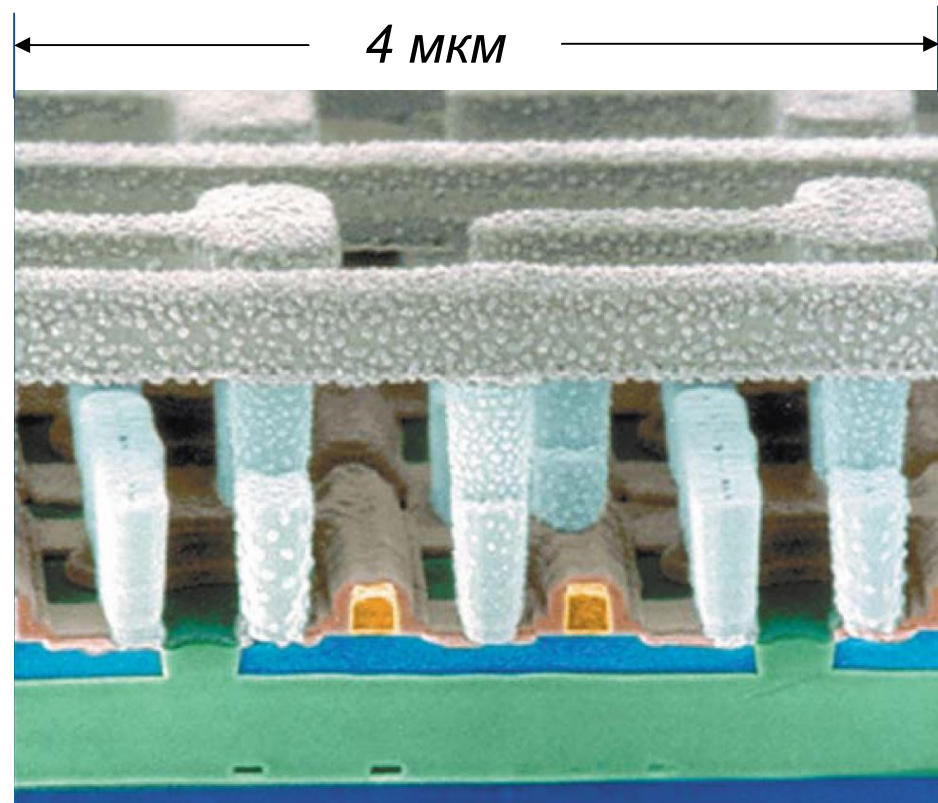
## «Нанотехнологические системы»



Тенденций развития ИС - миниатюризация функциональных устройств.

**ZEC12** микропроцессор сделанный IBM, 28 августа 2012 года, состоит из 2750 миллионов транзисторов, изготовленных по технологии 32-нм КМОП-кремний на изоляторе, поддержка скоростей от 5,5 ГГц, IBM заявила, что это самый быстрый микропроцессор в мире.

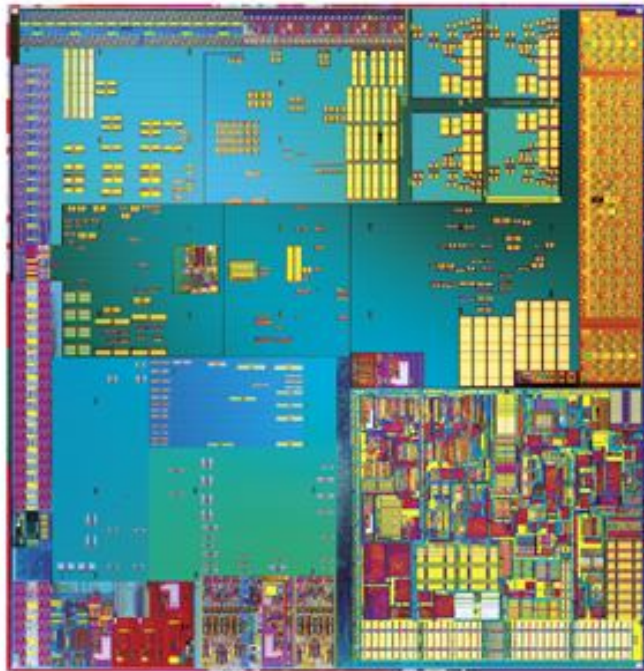
Технологии позволяют изготовить микросхемы, в которых характеристическая величина, равная половине расстояния между каждым элементом памяти составляет 32 нм.



## «Нанотехнологические системы»

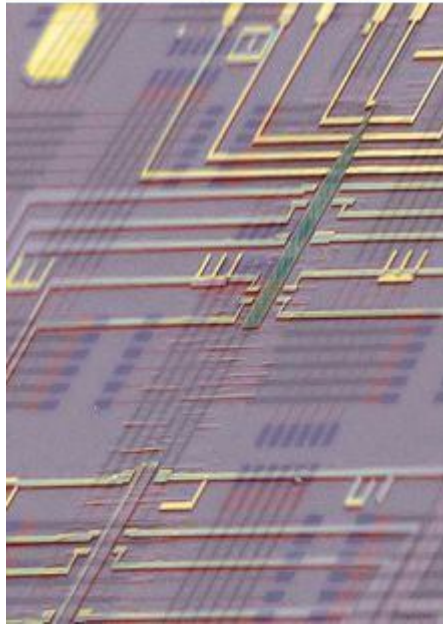
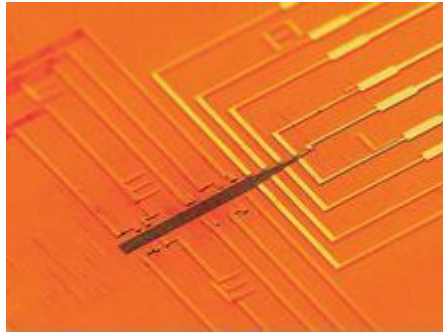
Встраиваемая система — специализированная микропроцессорная система управления, концепция разработки которой заключается в том, что такая система будет работать, будучи встроенной непосредственно в устройство, которым она управляет.

Устройство строится на базе встроенного компьютера, который в то же время не воспринимается пользователем устройства как компьютер.



- минимальное собственное энергопотребление
- минимальные собственные габариты и вес;
- собственная защита (корпус) минимальна и обеспечивается прочностью и жёсткостью конструкции и применёнными элементами;
- функции отвода тепла (охлаждения) обеспечивают минимум требований тепловых режимов.
- микропроцессор и системная логика, а также ключевые микросхемы по возможности совмещены на одном кристалле

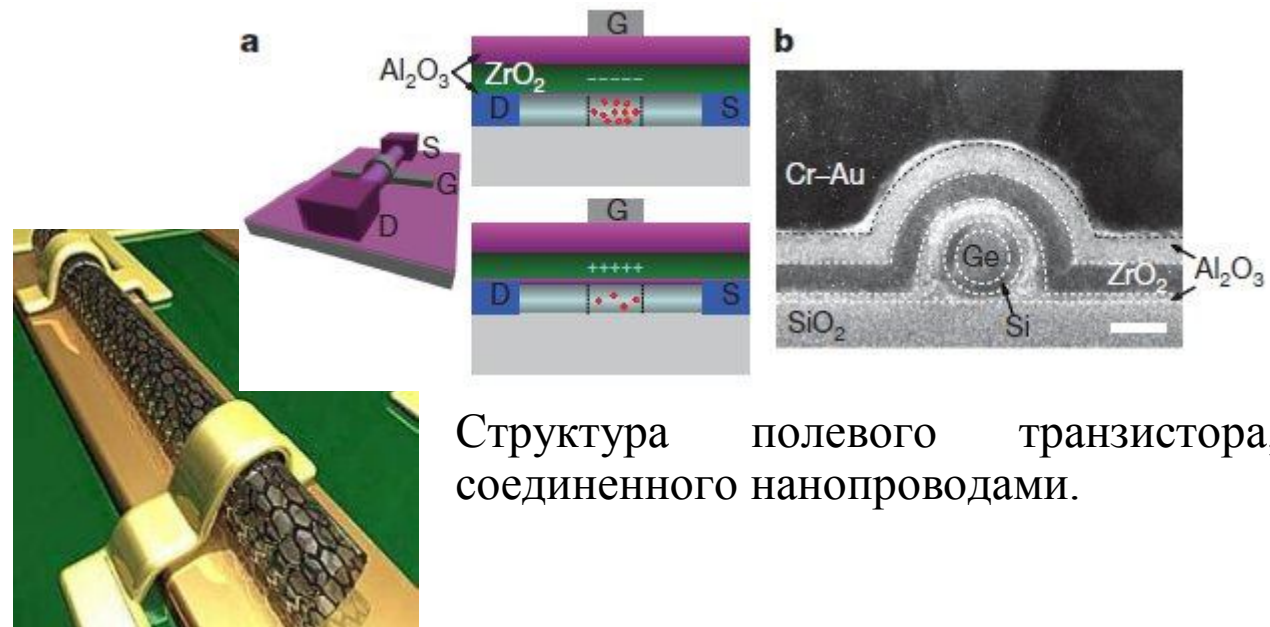
## «Нанотехнологические системы»



Микросхемы из углеродных нано материалах в разы энергоэффективнее.

Одной из причин является повеления квантовых эффектов , которые не позволяют току рассеиваться, как случается с обычными транзисторами.

Другая причина – быстродействие



Структура полевого транзистора, соединенного нанопроводами.



## «Нанотехнологические системы»

- Введение в виды микроскопии
- Базовые понятия о микро- нано- структурах
- Оптическая микроскопия
- Конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния света
- Сканирующая зондовая микроскопия
- Анализ методов микроскопии, по средствам оценки полученных результатов



## «Нанотехнологические системы»

Сканирующая  
зондовая  
микроскопия



СЗМ NanoEducator\_v.I



СЗМ SOLVER PRO-47

Конфокальная  
микроскопия



Измерительный  
комплекс AIST\_NT  
SmartSPM&Raman



КТМ «Умка-02-Е»

Оптическая  
микроскопия



ZEISS SteREO Discovery. V8



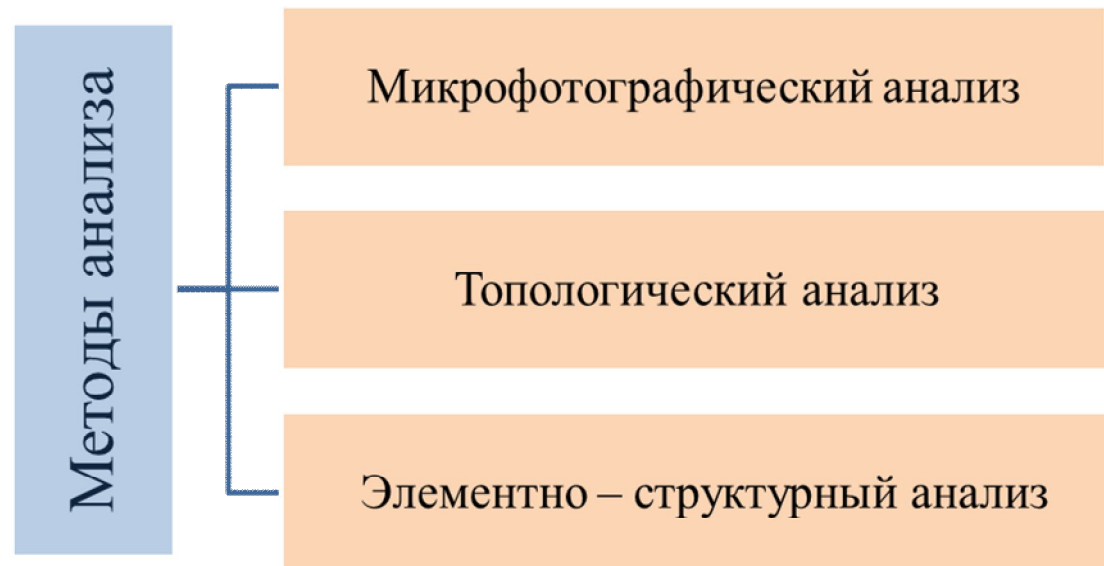
ZEISS Axio Imager A2



IntelPlay QX³

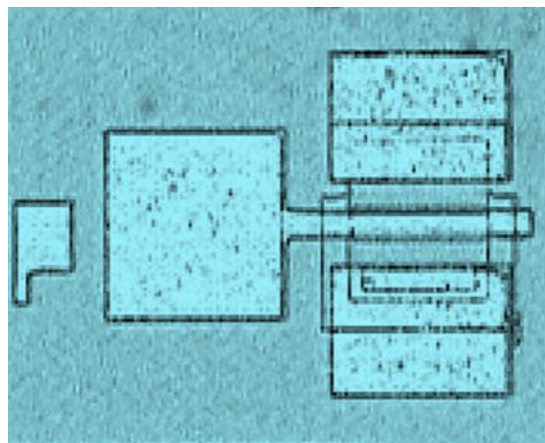
## «Нанотехнологические системы»

- Изучить основные методы и средства измерений микро- и нано- структур.
- Получить представления какие из методов наиболее информативны при анализе той или иной структуры.
- Провести обработку и анализ изображений микро- и нано- структур полученных различными средствами микроскопии.



Методы анализа микро- и нано структурированных материалов

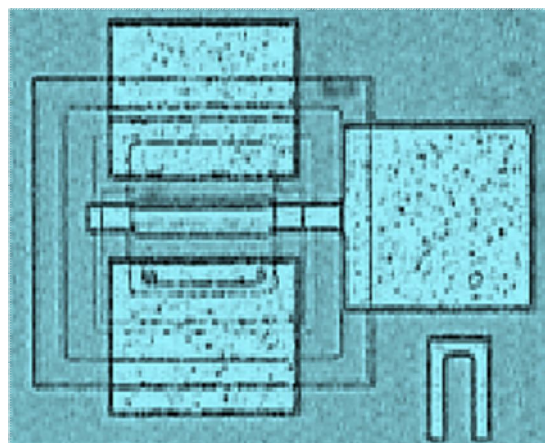
## «Нанотехнологические системы»



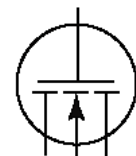
Микрофотография полевого  $p$  – канального транзистора (x10)



$p$ -канальный  
с индуцированным  
каналом



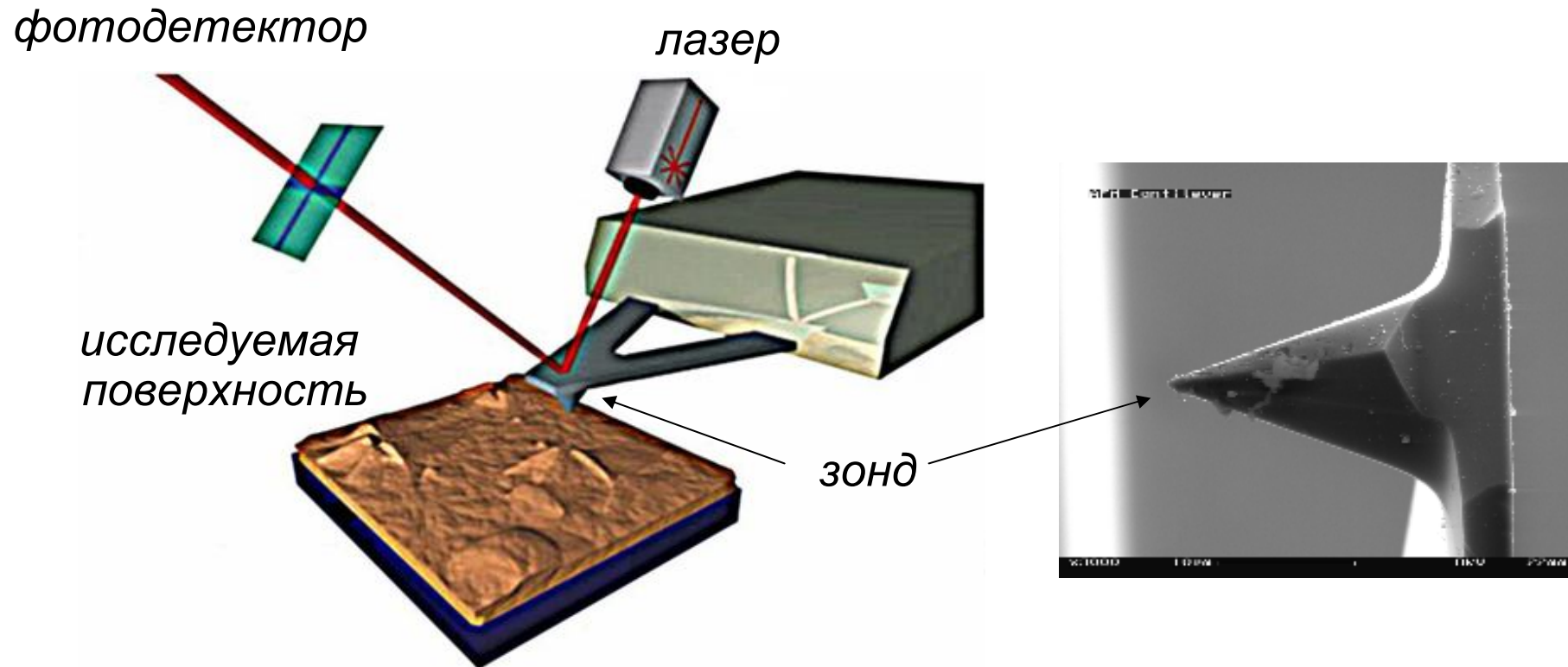
Микрофотография полевого  $n$  – канального транзистора (x10)



$n$ -канальный  
с индуцированным  
каналом

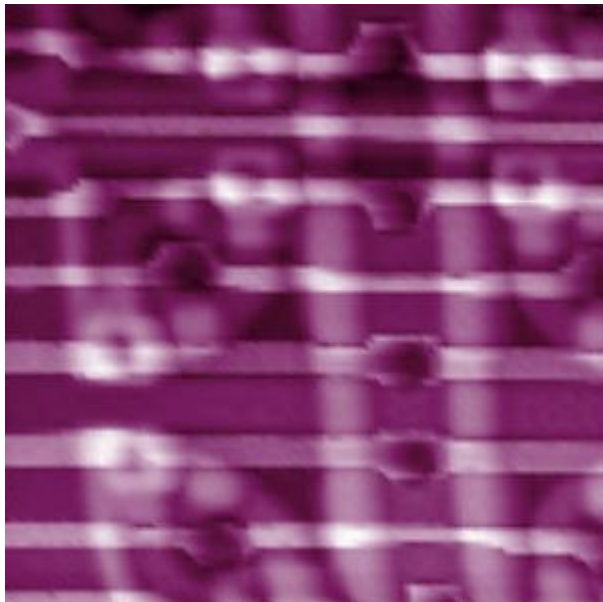
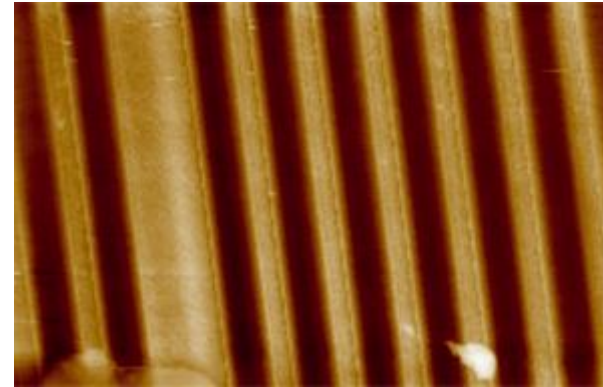
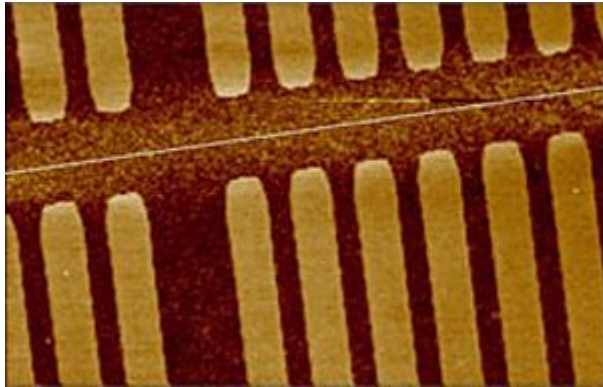


## «Нанотехнологические системы»



Отклонения зонда при действии близко расположенных атомов регистрируются при помощи измерителя наноперемещений, в частности используют оптические, ёмкостные или туннельные [сенсоры](#). Добавив к этой системе устройство развёртки по осям X и Y, получают сканирующий АСМ.

## «Нанотехнологические системы»



50x50 мкм

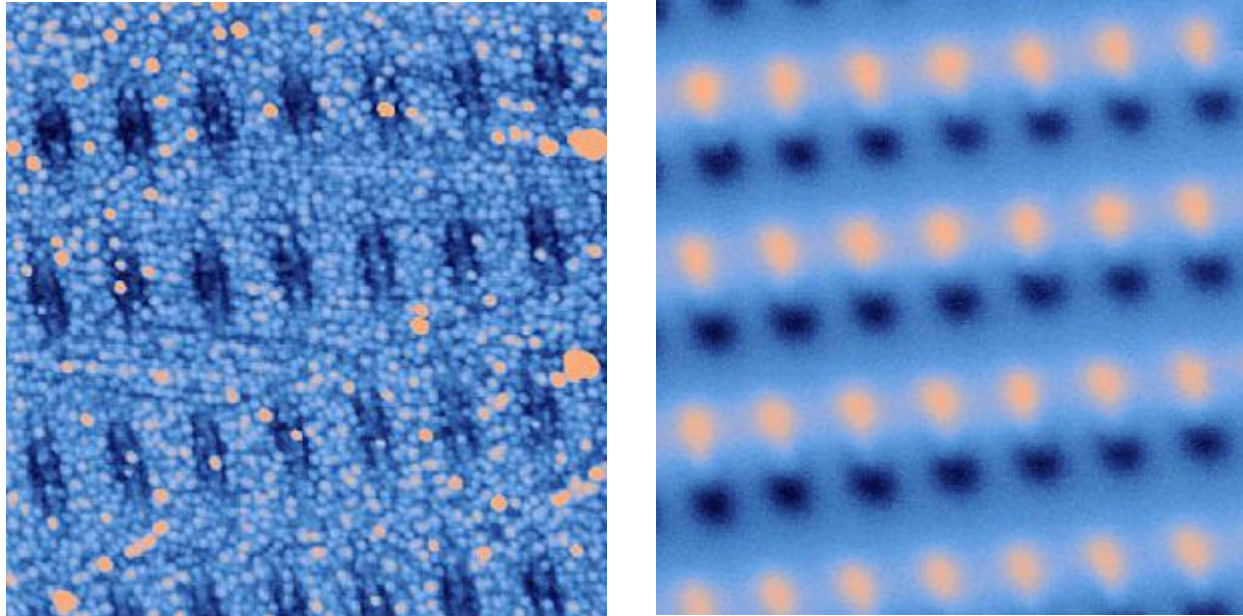
↑ Тестовая структура на основе решетки из полос  $\text{SiO}_2$  высотой 0,1 мкм с шагом 3 мкм на кремниевой подложке.

Было проведено внедрение ионов бора с  $E=100$  кэВ, отжиг и стравливание слоя  $\text{SiO}_2$ .

На полученной структуре получены изображения рельефа поверхности и изображение, полученное с применением контактной СЭМ.

← Часть интегральной схемы ПЗУ на одной из стадий технологического процесса.

## «Нанотехнологические системы»

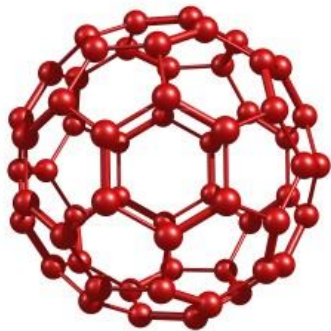


Рельеф поверхности (слева) и МСМ изображение (справа) ферромагнитных островков в парамагнитной пленке. Магнитное изображение выглядит как массив субмикронных магнитных диполей. Светлые и темные участки соответствуют различным магнитным полюсам диполей.

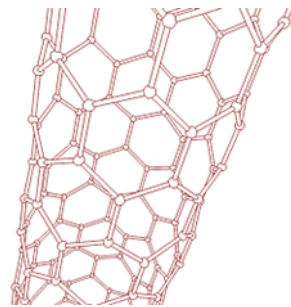
Накопители информации, изготовленные на основе массивов из магнитных диполей, являются одними из наиболее перспективных видов запоминающих устройств.

## «Нанотехнологические системы»

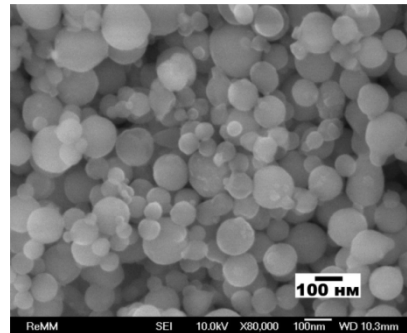
Спектроскопия комбинационного рассеяния света (или рамановская спектроскопия) — эффективный метод химического анализа, изучения состава и строения веществ по его спектральным характеристикам вторичного отражения света.



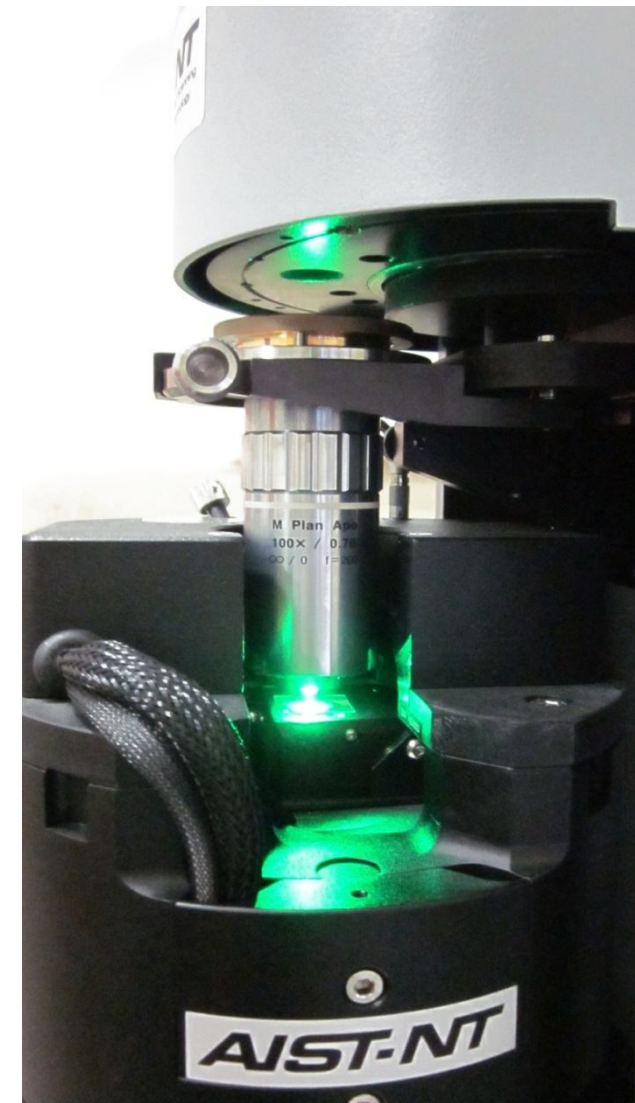
Фуллерен C<sub>60</sub>



Схематическое изображение нанотрубки

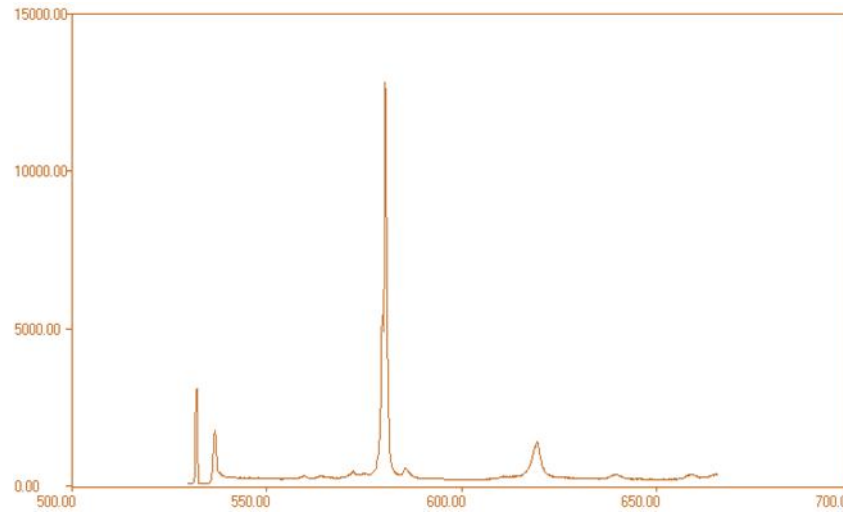
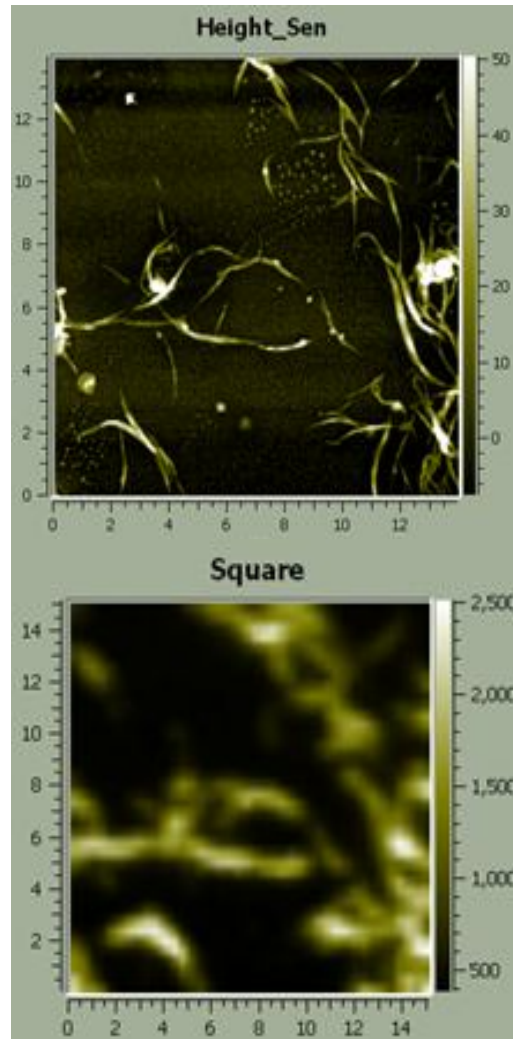


Микрофотография нанопорошка алюминия.

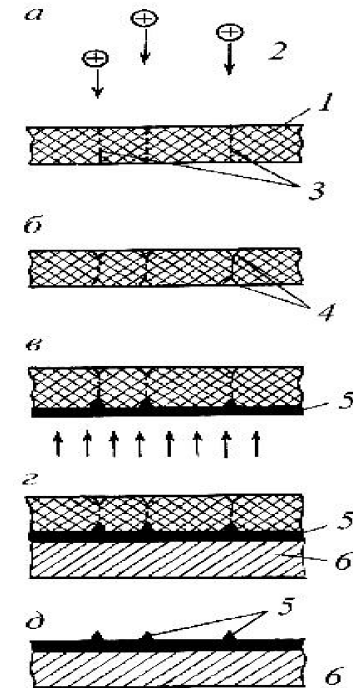




# «Нанотехнологические системы»



Спектр КРС – Эффект ГКР яркость 15 000 ед.

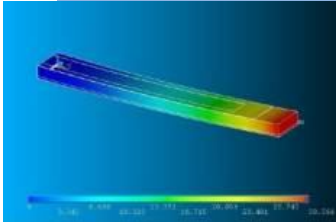


Возможность формирования ГКР-активных наноструктур

Нелинейно-оптические свойства нового класса ГКР-активных трековых наноструктур, формируемых по матричной технологии с использованием системы пор трековых мембран (острыйные структуры и системы полых нанотрубок).

# «Нанотехнологические системы»

Проектирование  
структуры компонентов  
наносистем



Формирование структуры  
(распыление)



Формирование структуры  
(самоорганизация)



Формирование структуры  
(литография)

Функциональное  
тестирование  
(зондовая станция)



Измерения и контроль  
качества  
(микроскопия)



Испытания  
и сертификация



## «Нанотехнологические системы»

Для решения образовательных задач:

- проведение жидкостных процессов в рамках курсов по методам микроскопии, методам формирования структур
- подготовка образцов для работы
- выполнение вспомогательных работ
- применяется в следующих УМК:  
УМК «Технологические процессы наноинженерии»  
УМК «Методы литографии в наноинженерии»  
УМК «Эллионные процессы и нанотехнологии»

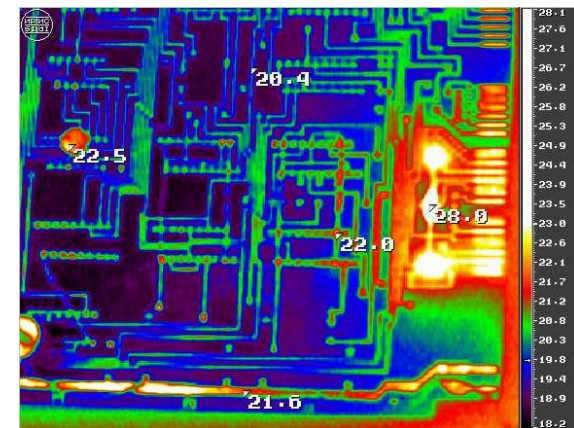
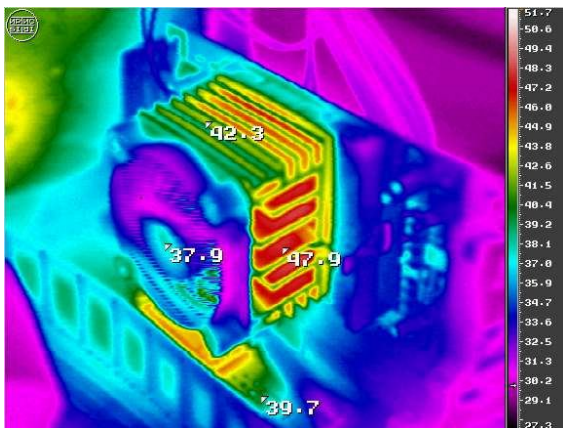
Для решения экспериментальных задач:

- проведение жидкостных технологических процессов в рамках НИР по темам:  
- Методы микроскопии
- подготовка подложек и образцов перед работой
- проведение вспомогательных процессов

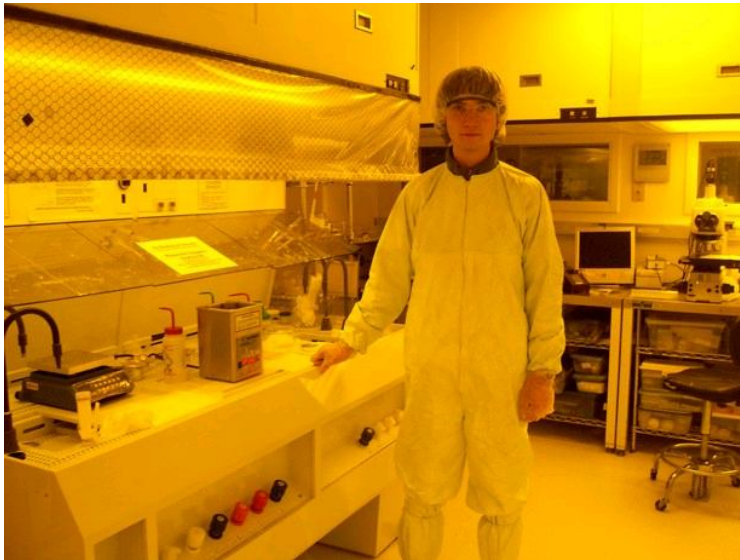
## «Нанотехнологические системы»



- Виброиспытания
- Испытания на воздействия температуры и влажности
- Дефектоскопия и мониторинг тепловых полей



## «Нанотехнологические системы»



Обучение в магистратуре/аспирантуре университета Калифорнии, Санта Круз (США) (инженерная школа: [www.soe.ucsc.edu](http://www.soe.ucsc.edu), университет: [www.ucsc.edu](http://www.ucsc.edu))

Эйндховенской технологическом университете (Нидерланды)

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ТУРИНА

Политехнический институт г.Гренобль (Франция)