

Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова  
Ярославский Филиал Физико-технологического института РАН



ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ  
**«Диагностика микро- и наноструктур»**

[www.nano.yar.ru](http://www.nano.yar.ru)

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЦЕНТРЕ



**Orlikovskiy  
Александр  
Александрович**  
Директор Центра  
академик РАН,  
директор ФТИАН



**Рудый  
Александр  
Степанович**  
Заместитель  
директора ЦКП,  
директор Ярославского  
филиала ФТИАН  
профессор

Центр расположен  
на площади ~ 1000 м<sup>2</sup>,  
общая численность  
персонала - 49 человек,  
в том числе: докторов 12,  
кандидатов наук 14,  
аспирантов 4,  
студентов 12.

Центр коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика микро- и наноструктур» (ЦКП ДМНС) создан при Ярославском государственном университете 1 ноября 2006 г. приказом ректора по решению Ученого совета ЯрГУ. С 2009 г. ЦКП ДМНС – интегрированное научное подразделение ЯрГУ и Ярославского филиала ФТИАН, действующее на основании договора от 09.02.2009 г.

## Целью деятельности Центра является:

- Создание региональной инновационной инфраструктуры в рамках национальной нанотехнологической сети;
- Обеспечение функционально полного инновационного цикла высокотехнологичных предприятий региона.

Центр входит в национальную нанотехнологическую сеть <http://www.rusnanonet.ru/nns/41450/>

Центр участвует в мероприятиях Федеральных целевых программ:

- Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы.
- Научные и научно-педагогические кадры инновационной России.

## ЦЕНТР РАСПОЛАГАЕТ САМЫМ СОВРЕМЕННЫМ АНАЛИТИЧЕСКИМ И ДИАГНОСТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛЕДУЮЩИХ ВИДОВ РАБОТ:

- Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторских разработки в области микро- и наноэлектроники.
- Диагностика микро- и наноструктур электронники, наноматериалов, биоорганических нанообъектов.
- Заказной анализ широкого класса объектов методами:
  - вторичной ионной масс-спектрометрии (IMS-4F);
  - времяпролетной ионной масс-спектрометрии (IONTOF SIMS5);
  - электронной сканирующей микроскопии (Supra 40);
  - туннельной сканирующей микроскопии (GPI-Cryo-SEM);
  - электронно-ионной сканирующей микроскопии (Quanta 3D 200i);
  - просвечивающей электронной микроскопии (Tecnai G2 F20 U-TWIN);
  - зондовой микроскопии (CMM 2000) и профилометрии (модель 130);
  - обратного резерфордовского рассеяния (K2MV);
  - оже-спектроскопии (PHI-660);
  - ИК фурье-спектроскопии (IFS 113-v);
  - рентгеноструктурного анализа (ARL X'tra);
  - Рамановской спектрометрии (EnSpector R532);
- Научно-образовательные услуги:
  - обеспечение основной образовательной программы «Электроника и наноэлектроника». Программа включена в реестр образовательных программ ОАО Росnano <http://edu-reestr.rusnano.com/>;
  - повышение квалификации и подготовка операторов аналитического и технологического оборудования микро- и наноэлектроники;
  - поддержка спецкурсов отдельных образовательных программ;
  - экспериментальная поддержка курсовых работ, дипломных проектов, кандидатских и докторских диссертаций.

**НАНО-АРТ**



«Заброшенная ГЭС»  
Кремний, анизотропное травление во  
фторсодержащей плазме



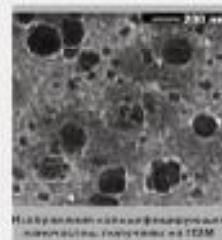
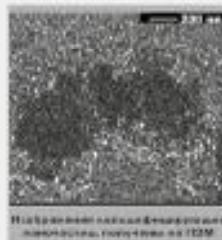
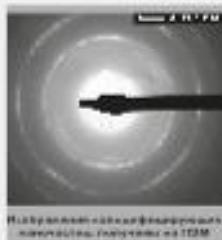
Центр коллективного пользования  
научным оборудованием  
«Диагностика микро- и наноструктур»

[WWW.NANO.YAR.RU](http://WWW.NANO.YAR.RU)

# ЛАБОРАТОРИЯ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

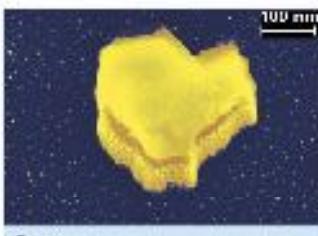
## Виды анализа методом просвечивающей электронной микроскопии:

- Получение изображений методом ПЭМ образцов наноразмерных объектов:
  - наночастиц (нанопорошков),
  - наностержней,
  - нановолокон,
  - нанотрубок,
  - нанопроволок,
  - нанодисковс пространственным разрешением до 0,12 нм.



- Анализ изображений с получением численных данных о размерах и форме нанообъектов, степени их агломерируемости и распределении по размерам.
- Получение изображений методом ПЭМ структуры образцов наноструктурных материалов с пространственным разрешением до 0,12 нм.
- Получение стереоизображения топографии поверхности
- Анализ изображений с получением численных данных о размерах и форме нанокристаллитов (гранул), пор, межкристаллитных границ и других особенностей структуры.
- Получение изображений методом ПЭМ структуры поперечных сечений и поверхностей образцов тонкослойных наноструктурных объектов (проводящих и непроводящих), в том числе тонких пленок, покрытий, наночипов лекролит-электродных структур, с пространственным разрешением до 0,12 нм.
- Анализ изображений с получением численных данных о размерах слоев, о размерах и форме нанокристаллитов (гранул), пор, межкристаллитных границ, межслоевых интерфейсов и других особенностей структуры.

НАНО-АРТ



«Остатки космического завтрака»  
Кварц при травлении на загрязненной поверхности

- Анализ распределения химических элементов в объекте (на основе рентгеноспектрального анализа);
- Исследование точечных и линейных дефектов материалов – вакансий и дислокаций;
- Анализ распределения потенциалов в сложных микроизделиях (вольтов контраст);
- Исследование распределения магнитных полей в образце (магнитный контраст);
- Метрология микроизделий.



Просвечивающий электронный микроскоп Тесла G2 F20 U-TWIN



# ЛАБОРАТОРИЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

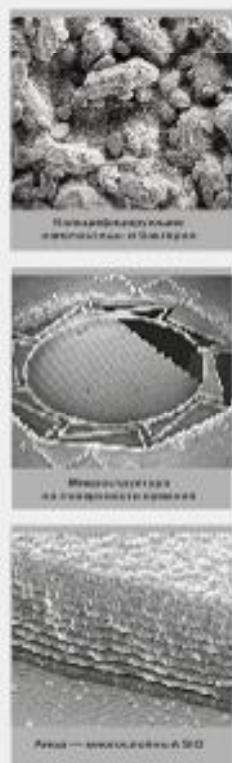


НАУМОВ  
Виктор  
Васильевич

Заведующий лабораторией  
тел: (4852) 24 29 81;  
E-mail: vvnau@rambler.ru



Столик для образцов



## ВИДЫ АНАЛИЗА МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ:

Получение изображений методом СЭМ образцов наноразмерных объектов (проводящих и непроводящих):

- наночастиц (нанопорошков),
- наностержней, нановолокон,
- нанотрубок,
- нанопроволок,
- нанодисков

с пространственным разрешением до 2 нм.

- Анализ изображений с получением численных данных о размерах и форме нанообъектов, степени их агломерируемости.
- Получение изображений методом СЭМ структуры объема и поверхности образцовnanoструктурных материалов (проводящих и непроводящих), в том числе нанокомпозитов с пространственным разрешением до 2 нм.
- Анализ изображений с получением численных данных о размерах и форме нанокристаллитов (гранул), пор, межкристаллитных границ и других особенностей структуры.



Сканирующий электронный микроскоп Supra 40  
с приставкой INCAx-act для энергодисперсионного микроанализа



ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ  
«Дигитика макро- и наноструктур»

WWW.NANO.YAR.RU

# ЛАБОРАТОРИЯ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ И ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ПЭМ

## Виды анализа методом сканирующей электронной и ионной микроскопии:



пухов  
Денис  
Эдуардович

Заведующий лабораторией  
Тел: +7 (903) 692-32-74  
E-mail: puhov2005@yandex.ru

### УСТАНОВКИ ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ПЭМ



Model 170 Ultrasonic Disk Cutter  
- для вырезания дисков



Model 200 Dimpling Grinder  
- для начального механического  
утонения



Model 1050 TEM Mill  
- утонение пучком аргона



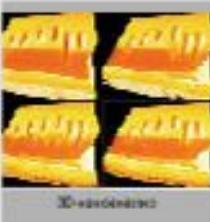
минералогические остатки  
образцов с базой



этап пробоподготовки -  
вырезание пластины



транс на поперечности  
для ПЭМ



Электронное  
изображение

- Получение изображений методом СЭМ структуры поперечных сечений и поверхностей образцов тонкослойных наноструктурных объектов (проводящих и непроводящих), в том числе тонких пленок, покрытий, нано-чипов и электролит-электродных структур, с пространственным разрешением до 1 нм.
- Анализ изображений с получением численных данных о размерах слоев, о размерах и форме нанокристаллитов (гранул), пор, межкристаллитных границ, межслоевых интерфейсов и других особенностей структуры.
- Применение методов препарирования тонкослойных наноструктурных объектов для ПЭМ.



Двухлучевая FIB-SEM система Quanta 3D 200i

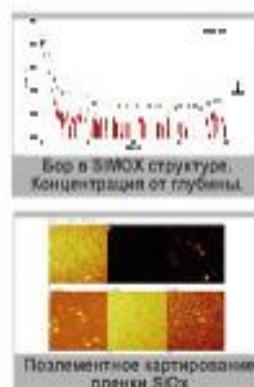


# СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЛАБОРАТОРИЯ ВТОРИЧНО-ИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ



СИМАКИН  
Сергей  
Геннадьевич

Заведующий лабораторией  
Тел: +7 (915) 967 07 93  
E-mail: simser@mail.ru



## ВИДЫ ВИМС-АНАЛИЗА:

- Послойный элементный анализ поверхностных слоев наноматериалов иnanoструктур методом вторичной ионной масс-спектрометрии, в том числе:
  - послойный анализ функциональных элементов интегральных микро-схем,
  - послойный анализ сверхрешеток,
  - контроль дозы легирующих примесей в полупроводниках и структурах на их основе.

- Количественный элементный анализ наноматериалов различными методами ионной масс-спектрометрии.
- Физико-химический анализ микрочастиц с размерами менее 0,1 мкм.
- Трехмерный анализ распределения элементов.
- Исследования примесей и дефектов в кристаллах и минералах.
- Физико-химический анализ биоорганических nano-объектов.
- Количественный микронализ для геологии и экологии.



## ЛАБОРАТОРИЯ ЭПР-СПЕКТРОСКОПИИ



ТИХОНОВ  
Иван  
Владимирович

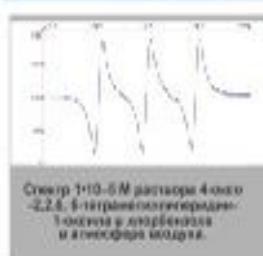
Заведующий лабораторией  
Тел: +7 (905) 633 32 95  
E-mail: Ivan\_t13@mail.ru

### ВИДЫ АНАЛИЗА:

- Исследование структуры полимерных пленок методом спинового зонда;
- Исследование структурных дефектов в функциональных материалах;
- Исследование химических процессов с участием стабильных и лабильных радикалов.

### ПРЕДНАЗНАЧЕН

Для регистрации спектров ЭПР твердых и жидких веществ, содержащих парамагнитные центры, и измерения параметров этих спектров



Спектр 1·10<sup>-6</sup> М раствора 4-окси-2,2,6,6-тетрапропиогидро-1,1,1,1-тетрокси в маслянистой азотной кислоте.



Спектрометр электронного парамагнитного резонанса Adani CMS 8400



## ЛАБОРАТОРИЯ ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

РАЗРЕШЕНИЕ ПО ГЛУБИНЕ 3 НМ.  
ЛОКАЛЬНОСТЬ 0,1 МКМ.  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ 0,1 – 1,0 АТ.%

Спектрометр Оже PHI-660

Анализ элементного состава поверхности  
И распределение элементов  
По глубине (от Iі до II).



ЦЕНТР ДОЛГОВЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ  
«Динамика микро- и nanoструктур»

WWW.NANO.YAR.RU

# ЛАБОРАТОРИЯ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ



КРИВЕЛЕВИЧ  
Сергей  
Александрович

Заведующий лабораторией  
Тел: +7 (905) 138 74 45  
E-mail: s.krivelevich@mail.ru

- Получение изображений в контактном, полуконтактном и бесконтактном режимах
- атомно-силовой микроскопией.
- Получение изображений в режиме фазового контраста.
- Получение изображений в режиме туннельного микроскопа.



«Фалс - Ниагара»  
Нано-контрастное изображение на  
закраине поверхности



Картина алюминия  
нагрева кромки



Структура изогнутого  
МБС Голубого дюйма  
после контактно-атомной  
обработки

## Виды анализа методом сканирующей зондовой микроскопии:



Класс профилометров модели 130



Класс мультимикроскопов ACM/TCM СММ-2000



## Виды анализа методом сканирующей зондовой микроскопии высокого разрешения:

- Получение изображений в режиме туннельного микроскопа.
- Определение толщины тонких слоев покрытий и птероструктур в диапазоне 1 — 100 нм.
- Электрофизические измерения структур микро- и наноэлектроники.
- Нанолитография.
- Спектроскопические исследования структур микро- и наноэлектроники.



Поверхность тирографита.  
Видно кристаллическая решетка и  
отдельные атомы углерода.  
Растр 17,0-17,5 нм

3D-нанозондовая система «GPI-Cryo-SEM» —  
сканирующий туннельный микроскоп  
на базе вакуумной системы СЭМ Supra 40



ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ  
«Диагностика микро- и наноструктур»

[WWW.NANO.YAR.RU](http://WWW.NANO.YAR.RU)

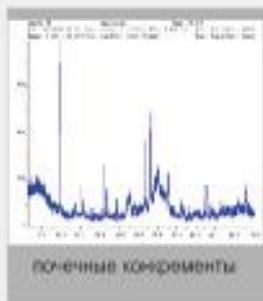
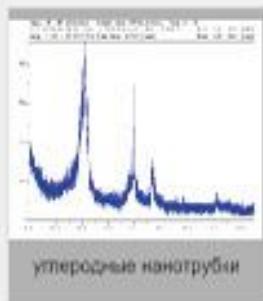
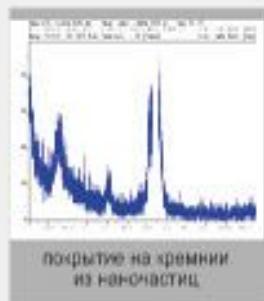
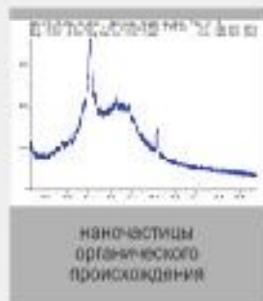
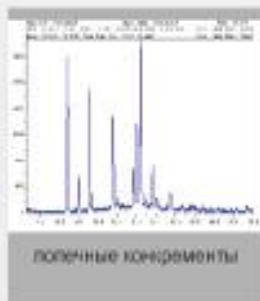
# ЛАБОРАТОРИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ

## Рентгеновский дифрактометр **ARL X'tra**



ВАСИЛЬЕВ  
Сергей  
Вениаминович

Заведующий  
лабораторией ПЭМ  
Тел : +7 (903) 690 34 43  
E-mail: vasilevsvhep@mail.ru



НАНО-АРТ



- определение одной или нескольких фаз в неизвестной пробе;
- количественное определение известных фаз в смеси;
- определение структуры кристаллов и параметров элементарной ячейки;
- анализ поведения вещества в различных газовых средах, если структура кристаллов изменяется при изменении температуры, давления или газовой фазы;
- анализ поверхности и тонких пленок;
- анализ текстуры, возникающей в условиях прокатки, волочения

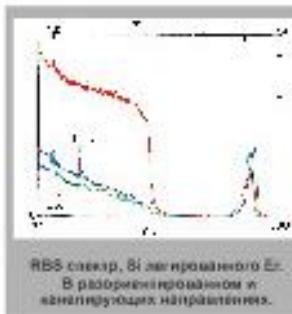
Рентгеновский дифрактометр ARL X'tra



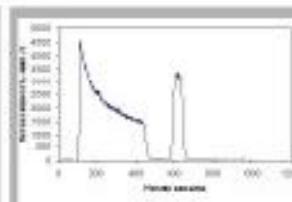
# ЛАБОРАТОРИЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И RBS АНАЛИЗА

ПАРШИН  
Евгений  
Орестович

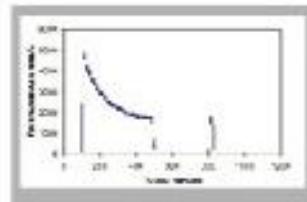
Заведующий лабораторией  
Тел: +7 (905) 133 87 04  
E-mail: par1959@yandex.ru



RBS спектр, Ві згадуваного Е.  
В розрізняючим імпульсом і  
«напиравлючими» напрямами.



Енергетичний спектр  
обратнорозсіяних іонів галію,  
получений від образця  
кременю з орієнтацією [100],  
з накладеною пізною хрома  
такшіною 50 нм



Енергетичний спектр  
обратнорозсіяних іонів талюмію,  
получений від образця кременю  
з орієнтацією [100], з нальотом  
іонів заліза товщиною 5 нм

## УСТАНОВКА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА БАЗЕ УСКОРИТЕЛЯ K2MV (NVEE, НИДЕРЛАНДЫ) С СИСТЕМОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ОБРАТНОГО РЕЗЕРФОРДОВСКОГО РАССЕЯНИЯ (RBS-АНАЛИЗА)

Позволяет выполнять ряд уникальных работ, требующих использования ионов средних и высоких энергий, таких как:

- анализ различных структур методом RBS;
- имплантация ионов различных химических элементов с минимумом потерь имплантируемого элемента, обусловленных рассеянием первичных ионов;
- имплантация тяжелых ионов;
- имплантация молекулярных и кластерных ионов;
- формирование заданных распределений имплантируемой примеси с помощью варьирования в широких пределах энергии первичных частиц.



Установка ионной имплантации K2MV  
с системой RBS-анализа



«Хрустальный лес»  
Кремний, плазменный діастадійний  
процес традиційна фасування  
(Варій - процес)



ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ  
«Дополнительная микро- и наноструктура»

WWW.NANO.YAR.RU

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



**Установка низкочастотного плазмохимического осаждения для формирования нитридных, оксидных и аморфных слоев на кремнии**

## Установка плазмохимического осаждения MINI GOUPTYL

- Реактивное ионное травление
- Плазмохимическое осаждение с источником индуктивно-связанной плазмы
- Плазмохимическое осаждение из газовой фазы

Обрабатывают пластины до 200 мм



## Установка плазмохимического травления и осаждения Plasmalab 100

### СОВМЕЩЕНИЕ ФОТОШАБЛОНА И ПЛАСТИНЫ, А ТАКЖЕ ЭКСПОНИРОВАНИЕ ФОТОРЕЗИСТА ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ЛИТОГРАФИИ

Подложки из кремния, GaAs, GaN, LiNbO<sub>3</sub> и другие  
Размер пластины до 100 мм в диаметре

Изготовление поверхностных  
микроструктур методом  
контактной литографии



## Установка совмещения и экспонирования SUSS MJB4

# НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА ЦЕНТРА

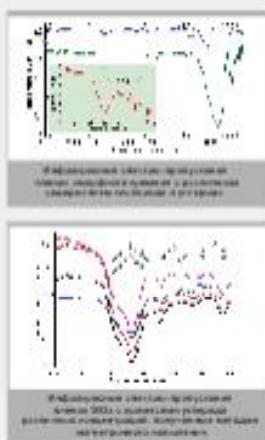
- Разработка высокоеффективных солнечных элементов;
- Разработка функциональных нанокомпозитов для литий-ионных аккумуляторов нового поколения;
- Исследование морфологии и фазового состава кальцифицирующих нано-частиц из Воротиловской научной скважины;
- Разработка, изготовление и экспериментальное исследование макета элемента памяти на основе SiO<sub>2</sub> с включенными нанокластерами кремния;
- Разработка нано- и микроэлектромеханических систем (НЭМС и МЭМС);

# СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЛАБОРАТОРИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ



ЧУРИЛОВ  
Анатолий  
Борисович

Заведующий лабораторией  
Тел: +7 (910) 975 54 74  
E-mail: abchurilov@mail.ru



## МЕТОД ИКФС ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ:

- исследования оптических характеристик слоев нитрида и диоксида кремния, полученных различными технологическими методами;
- изучения связанных состояний и преципитатов азота, водорода, фтора, углерода в кремнии и поликремнии;
- измерения толщины эпитаксиальных слоев на поверхности полупроводников;
- исследования оптических характеристик боросиликатных и фосфоросиликатных стекол, силицидов, гидрогенизированного аморфного кремния, пористого кремния, пленок алмаза, нитрида бора, полимида, SOI, SiMOX и других материалов и структур микро- и наноэлектроники.

## Применяется для:

- идентификации неизвестных материалов;
- спектроскопии органических веществ;
- изучения свойств диэлектрических и полупроводниковых подложек и пленок, используемых в микрэлектронике и прозрачных в ИК области спектра.



Спектрометр ИК Фурье IFS-113v

## РАМАНОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР ENSPECTOR R532

### РАМАНОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР ENSPECTOR R532

Предназначен для определения химических веществ.



#### ОСОБЕННОСТИ:

- Бесконтактное определение в режиме реального времени
- Высокая чувствительность и низкий шум
- Широкий спектральный диапазон

#### ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Быстрые и надежные результаты
- Легкость в использовании
- Портативность

#### Области применения:

- Фармацевтическая индустрия
- Химическая индустрия
- Медицинская диагностика
- Судебная экспертиза
- Геология и минералогия
- Окружающая среда
- Пищевая промышленность
- Сельское хозяйство
- Полупроводники
- Геммология
- Полимеры

## СЕКТОР ФОТОВОЛЬТАИКИ

### ВИДЫ АНАЛИЗА:

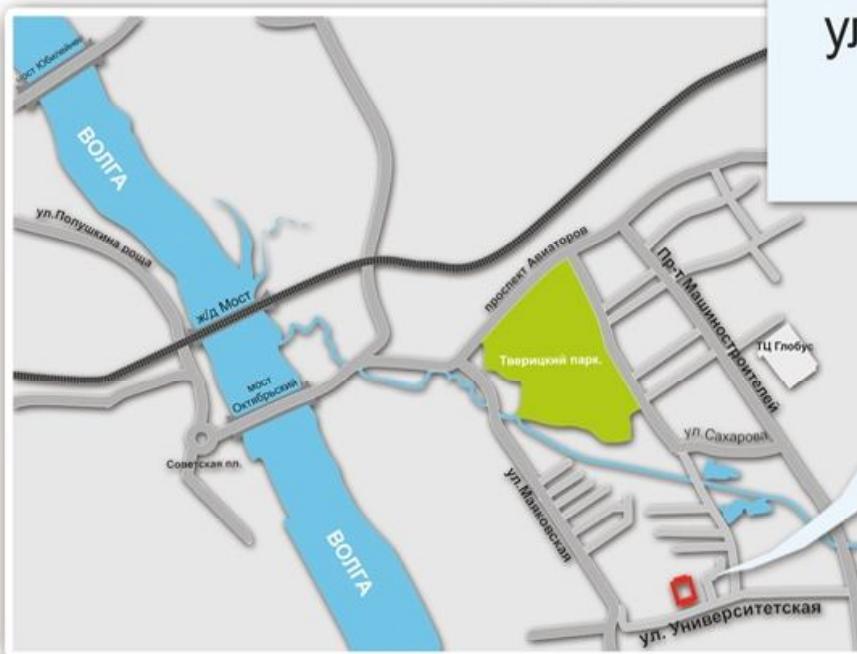
- Измерение фотovoltaического эффекта и спектральной фоточувствительности фотопреобразователей солнечной энергии на основе:
  - нерганических наноструктурированных,
  - неорганических нанокомпозитных,
  - органических нанокомпозитных (в том числе полимерных) материалов.

Установка для исследования характеристик солнечных элементов Oriel I-V





# СХЕМА ПРОЕЗДА



АДРЕС:  
Ярославль,  
ул. Университетская,  
дом 21

Контактная  
информация:  
Заместитель директора  
ЦКП ДМНС  
Воронина  
Татьяна Владимировна  
тел: +7(920) 650-93-67;  
E-mail: [vtvimi@rambler.ru](mailto:vtvimi@rambler.ru)  
[www.nano.yar.ru](http://www.nano.yar.ru)