

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**



**УТВЕРЖДАЮ**  
 Проректор  
 по учебно-методической работе

А.А.Панфилов

« 14 » 01 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ**  
 (наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
7	3 / 108	18	18	-	72	зачет
Итого	3 / 108	18	18	-	72	зачет

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Методы диагностики в нанотехнологиях» направлено на достижение следующих целей ОПОП 28.03.02 «Наноинженерия»:

Код цели	Формулировка цели
Ц1	Подготовка выпускников к <i>научно-исследовательской и инновационной деятельности</i> в области нанотехнологий и нанодиагностики, в том числе междисциплинарных областях, связанных с выбором необходимых методов исследования, модифицирования существующих и разработки новых технологий исходя из задач конкретного исследования.
Ц2	Подготовка выпускников к <i>проектно-конструкторской и проектно-технологической деятельности</i> , включающей в себя участие в составе коллектива исполнителей в проведении расчетных и проектных работ при разработке процессов нанотехнологий
Ц3	Подготовка выпускников к <i>производственно-технологической деятельности</i> , обеспечивающей участие в составе коллектива исполнителей в работах по производству и контролю качества нанообъектов и изделий на их основе;

Целями освоения дисциплины «Методы диагностики в нанотехнологиях» являются: получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных технологий оптической, атомно-силовой и электронной микроскопии, рентгеновской спектро- и дифрактометрии; физико-химических основ их функционирования; основ моделирования данных процессов, анализе новых областей использования новых методов диагностики и испытаний наноматериалов в машиностроении; практических навыков в области диагностики.

Основные дидактические единицы (разделы): Введение в курс. Методы сканирующей зондовой микроскопии. Методы электронной и оптической микроскопии. Методы рентгеновской диагностики и исследования материалов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Методы диагностики в нанотехнологиях» изучается в 7-ом семестре подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 после обязательного прохождения дисциплин «Введение в наноинженерию», «Основы нанотехнологий в машиностроении», «Физика», «Материаловедение», «Физико-химические основы нанотехнологий». Дисциплина является *основной* в диагностике и испытаниях наноразмерных объектов и *базовой* для изучения последующих дисциплин, в том числе «Нанометрология», «Испытание изделий», «Оборудование нанотехнологичного производства» и др., а также выпускной квалификационной работы,

При изучении дисциплины рассматриваются вопросы *теоретического характера*, а именно: классификация и основные проблемы технологий машиностроения, обзор высокотехнологических методов обработки (МО) в машиностроении, анализ областей использования нанотехнологий в машиностроении. Большое внимание уделяется изучению современного технологического оборудования в машиностроении, в том числе высокоскоростного и высокопроизводительного, тенденциям развития металлообрабатывающего инструмента. В рамках изучения дисциплины приобретаются *практические навыки работы* с оптическим, атомно-силовым и электронным микроскопом, подготовке образцов для оптической, атомно-силовой и электронной микроскопии; с рентгеновскими дифрактометрами и спектрометрами и подготовке образцов для этих исследований; а также навыки работы с полученными изображениями и результатами, компьютерной обработкой результатов.

**Целью дисциплины** является изучение методов диагностики и испытаний наноматериалов, которые носят как теоретический, так и экспериментальный характер. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных научно-исследовательских и практических задач. Основными задачами дисциплины являются:

получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных технологий оптической, атомно-силовой и электронной микроскопии, рентгеновской спектро- и дифрактометрии; физико-химических основ их функционирования; основ моделирования данных процессов, анализе новых областей использования новых методов диагностики и испытаний наноматериалов в машиностроении; практических навыков в области диагностики.

Основной упор в курсе делается на научное направление кафедры *«Технологии машиностроения»*, а именно «Высокоэффективные методы обработки в технологиях машиностроения», а также на работы в НОЦ «Нанотехнологии» ВлГУ.

В рамках данного курса будет рассмотрено устройство и принцип работы сканирующих зондовых, электронных микроскопов и установки рентгеновской диагностики материалов, в том числе будут изучены базовые физические явления, лежащие в основе различных методик измерений, представлены примеры использования микроскопии и диагностики для исследования различных наноматериалов. В ходе освоения курса студенты получают реальные практические навыки работы на сканирующих зондовых микроскопах и проведут измерения различных материалов с нанометровым пространственным разрешением. Особое внимание будет уделено теоретическому и практическому освоению методов математической обработки и количественного анализа изображений микроскопии и диагностики материалов. В ходе изучения курса будет проведено несколько семинаров, на которых студенты получают возможность сделать доклады по использованию методов микроскопии и рентгеновской диагностики для исследования новых перспективных наноматериалов, основываясь на статьях ведущих мировых научных изданий и интернет-публикациях.

Для успешного усвоения материала дисциплины необходимо знание общих курсов «Физики» из цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин. Изучение дисциплины также рекомендовано студентам, бакалаврам и магистрам, планирующим использовать методы нанодиагностики материалов при выполнении курсовых и дипломных работ.

В результате изучения дисциплины студенты должны иметь четкое представление об общих принципах работы различных микроскопов; понимать суть физических явлений, лежащих в основе работы оптического, электронного, сканирующего туннельного и атомно-силового микроскопов; знать основные методики микроскопии, позволяющие исследовать механические, магнитные и электрические свойства поверхности твердых тел с нанометровым пространственным разрешением; иметь базовые практические навыки проведения измерений наноматериалов на микроскопах, дифрактометрах и спектрометрах.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

После изучения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и опыт, соответствующие результатам ОПОП направления 28.03.02:

**Р1, Р2, Р3, Р4, Р5, Р6** (расшифровка результатов обучения приводится в ОПОП направления 28.03.02).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения, согласующиеся с формируемыми компетенциям ОПОП:

способностью в составе коллектива участвовать в разработке макетов изделий и их модулей, разрабатывать программные средства, применять контрольно-измерительную аппаратуру для определения технических характеристик макетов (ПК-1):

*знать* основные методы микроскопии и рентгеновские методы диагностики наноматериалов для определения их характеристик;

*уметь* применять имеющиеся установки для нанодиагностики материалов и покрытий для определения технических характеристик макетов;

*владеть* простейшими навыками диагностирования наноматериалов на имеющемся оборудовании под руководством преподавателя или инженера-исследователя;

способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в проектных работах по созданию и производству нанообъектов, модулей и изделий на их основе (ПК-7):

*знать* номенклатуру имеющегося в вузе диагностического оборудования для проверки свойств наноматериалов и нанопокрываний для создания и производству нанообъектов, модулей и изделий на их основе;

*уметь* использовать методы диагностики наноматериалов и нанопокрываний для разработки новых нанообъектов, модулей и изделий на их основе;

*владеть* простейшими навыками по использованию методов диагностики наноматериалов и нанопокрываний при разработке новых нанообъектов, модулей и изделий на их основе;

способностью составлять частное техническое задание (ПК-12):

*знать* разделы технического задания в области разработки наноматериалов и нанотехнологий, относящиеся к методам диагностики;

*уметь* выбирать основные и вспомогательные характеристики и требования для технического задания в части методов диагностики наноматериалов и нанотехнологий;

*владеть* основными приемами составления технического задания в части диагностики наноматериалов и нанотехнологий.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы 108 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
<b>1</b>	<b>Раздел 1. Введение в курс. Методы сканирующей зондовой микроскопии.</b>	4									
1.1	Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия.		1-2	2	2	-	-	8	-	2 / 50%	<i>Рейтинг-контроль №1</i>
1.2	Атомно-силовая микроскопия.		3-4	2	2	-	-	8	-	2 / 50%	
1.3	Электрические и оптические методики сканирующей зондовой микроскопии.		5-6	2	2	-	-	8	-	2 / 50%	
<b>2</b>	<b>Раздел 2. Методы электронной и оптической микроскопии.</b>									<i>Рейтинг-контроль №2</i>	
2.1	Электронная растровая микроскопия.		7-9	3	3	-	-	12	-	3 / 50%	
2.2	Оптическая микроскопия.		10-12	3	3	-	-	12	-	3 / 50%	
<b>3</b>	<b>Раздел 3. Методы рентгеновской диагностики и исследования материалов</b>										
3.1	Рентгеноспектральный микроанализ.		13-14	2	2	-	-	8	-	2 / 50%	<i>Рейтинг-контроль №3</i>
3.2	Методы рентгеновского флуоресцентного анализа (RFA) и абсорбционной рентгеновской спектроскопии (XAFS, EXAFS, XANES).		15-16	2	2	-	-	8	-	2 / 50%	
3.3	Рентгенооптические методы исследования наноструктур: рефлектометрия, рефрактометрия, рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние (SAXS, GISAXS).		17-18	2	2	-	-	8	-	2 / 50%	
Всего				18	-	18	-	72	-	18 / 50%	Зачет

## Тематическое содержание курса

### Раздел 1. Введение в курс. Методы сканирующей зондовой микроскопии.

Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия. Краткий обзор содержания курса. Введение и терминология. развития сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Физические основы работы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Функция состояния системы, уравнение Шредингера. Туннельный эффект. Туннельный эффект в квазиклассическом приближении. Зонная структура металлов, энергетическое распределение электронов в металле. Туннельный ток в системах металл-диэлектрик-металл и металл-диэлектрик-полупроводник. Устройство и принцип работы СТМ: туннельный сенсор, требования и методы изготовления туннельных зондов, режимы постоянного тока и постоянной высоты. Ограничения СТМ. Реализация атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе. "Наблюдаемые" физические величины в СТМ. Измерение характеристики ток-расстояние и локальной работы выхода. СТМ спектроскопия: измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта и распределения плотности электронных состояний. Примеры использования СТМ для исследования наноматериалов.

Атомно-силовая микроскопия. Зондовые датчики для атомно-силовой микроскопии. Основные типы кантилеверов – зондовых датчиков, используемых в атомно-силовой микроскопии (АСМ). Технология изготовления кантилеверов. Потенциал взаимодействия зонда с образцом, зависимость силы взаимодействия от расстояния между зондом и образцом. Режимы работы АСМ: контактная АСМ, бесконтактная и полуконтактная АСМ. Особенности силового взаимодействия кантилеверов с поверхностью: упругие взаимодействия (задача Герца), капиллярные силы, сила Ван-дер-Ваальса, адгезионные силы, электростатическое и магнитное взаимодействие. Закон Гука и отклонения кантилевера под действием вертикальной (нормальной), продольной и поперечной сил. Тензор обратной жесткости кантилевера. Эффективная масса и собственная частота механических колебаний кантилевера.

Контактная атомно-силовая микроскопия. Устройство и принцип работы СЗМ в контактном режиме АСМ, оптический силовой сенсор. Режимы постоянной высоты и постоянной силы, назначение и принципы работы обратной связи. Предельное разрешение в контактном режиме. Недостатки контактной АСМ. Исследование механических свойств материалов с помощью контактной АСМ. Микроскопия сил трения: регистрация латеральной силы взаимодействия зонда и образца, вклады топографии и неоднородности коэффициента трения. Качественная интерпретация результатов микроскопии сил трения. Модуляционные методики на базе контактной АСМ. Микроскопия модуляции силы и атомно-силовая акустическая микроскопия: измерение пространственного распределения микротвердости, упругих констант, адгезионных свойств. Бесконтактная и полуконтактная методики атомно-силовой микроскопии.

Теория колебаний кантилевера: свободные и вынужденные, линейные и нелинейные колебания кантилевера, моды колебаний. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и образцом. Бесконтактный режим колебаний кантилевера. Полуконтактный режим колебаний кантилевера. Устройство и принцип работы СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах АСМ. Методы введения обратной связи для контроля расстояния между зондом и образцом. Метод отображения фазы. Преимущества бесконтактной и полуконтактной АСМ. Стратегия выбора оптимальных параметров колебаний кантилевера и режима сканирования при исследовании различного типа объектов. Примеры использования бесконтактной и полуконтактной АСМ для исследования наноматериалов.

Электрические и оптические методики сканирующей зондовой микроскопии. Контактные электрические методики сканирующей зондовой микроскопии

Исследование электрических свойств материалов с помощью СЗМ. Зондовые датчики для электрических методик измерения. Электромеханическое взаимодействие

между кантилевером и образцом в контактном режиме. Сканирующая микроскопия сопротивления растекания. Контактная сканирующая емкостная микроскопия. Силовая микроскопия пьезоэлектрического отклика. Сканирующая микроскопия нелинейной диэлектрической проницаемости. Факторы, определяющие пространственное разрешение, достижимое в контактных электрических методиках СЗМ. Примеры СЗМ исследований кинетики нанодоменов в сегнетоэлектриках. Реализация электрических двухпроходных методик СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах. Особенности вынужденных колебаний кантилевера при электростатическом взаимодействии зонда с поверхностью при приложении постоянного и переменного электрического напряжения между зондом и образцом. Электрическая силовая микроскопия. Микроскопия поверхностного потенциала (метод зонда Кельвина). Сканирующая емкостная микроскопия. Особенности подбора параметров измерения на первом и втором проходах сканирования в различных методиках. Факторы, определяющие пространственное разрешение, достижимое в двухпроходных электрических методиках СЗМ. Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия. Преимущества методов оптической микроскопии при исследовании материалов. Дифракционный предел пространственного разрешения классической оптической микроскопии. Идея конфокальной оптической микроскопии, повышение пространственного разрешения. Устройство и принцип работы сканирующего лазерного конфокального микроскопа, трехмерное сканирование, горизонтальное и вертикальное разрешение методики в сравнении с классической оптической микроскопией. Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния: физические основы, техническая реализация и аналитические возможности. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Области ближнего и дальнего поля при прохождении света через субволновую диафрагму, преодоление оптического дифракционного предела, идея сканирующего ближнепольного оптического микроскопа. Устройство, принцип действия, типы используемых зондов и основные режимы работы сканирующего ближнепольного оптического микроскопа. Методика регистрации резонанса поперечных сил для контроля расстояния между зондом и поверхностью, реализация системы обратной связи и регистрации топографии поверхности. Безапертурная сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острия проводящего зонда.

## **Раздел 2. Методы электронной и оптической микроскопии.**

Электронная растровая микроскопия. Физические основы растровой электронной микроскопии. Устройство и работа растрового электронного микроскопа. Подготовка объектов для исследований и особые требования к ним. Технические возможности растрового электронного микроскопа. Рентгеноспектральный микроанализ. Оптическая микроскопия. Световая микроскопия. Методы световой микроскопии. Конфокальная микроскопия. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа. Устройство и работа рентгеноспектрального микроанализатора. Подготовка объектов для исследований и особые требования к ним. Технические возможности рентгеноспектрального микроанализатора.

## **Раздел 3. Методы рентгеновской диагностики и исследования материалов.**

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Физический принцип рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Эффективная работа выхода металла в контакте с диэлектриком. Асимметрия спектральных линий. Локальная плотность электронных состояний. Сдвиги энергии связи в наноклстерах металлов. Зарядовое состояние и электронная экранировка. Аппаратура для РФЭС. Химический и поверхностный сдвиг энергии связи.

### Тематический план практических работ

№ п/п	Тема	Кол-во часов аудиторных занятий
1	Основы атомно-силовой микроскопии.	2
2	Методы исследования материалов с использованием атомно-силовой микроскопии.	2
3	Методики диагностики материалов с использованием сканирующей туннельной микроскопии.	2
4	Основы электронной микроскопии.	2
5	Физические основы оптической микроскопии.	2
6	Микро- и макроанализ металлических материалов методами оптической микрометрии.	2
7	Основы рентгеновской диагностики.	2
8	Изучение устройства источника генерированного рентгеновского излучения, рентгеновских трубок.	2
9	Определение искажений кристаллической решетки по данным рентгеновской дифракции	2
	Итого:	18

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются следующие формы образовательных технологий:

- при проведении практических занятий используется проблемный метод, в результате чего обучающиеся знакомятся с поставленными задачами и могут оценить альтернативные варианты их решения;

- при проведении практических занятий реализуется технология коллективной мыследеятельности: создаются малые группы студентов (2-3) человека, которые разрабатывают различные варианты диагностики наноматериалов и нанотехнологии. После этого представитель каждой группы обосновывает разработанный вариант практических действий, направленных на решение задачи, а затем происходит обсуждение достоинств и недостатков каждого из вариантов. В конце интерактивного обучения итог подводит преподаватель, который обосновывает наиболее рациональный вариант достижения цели. Выбранный вариант реализуется на практическом занятии. Вся учебная группа студентов работает параллельно над разными модулями практических занятий;

- экскурсии по лабораториям научного образовательного центра «Нанотехнологии» университета, где установлены и функционируют различные диагностические установки и оборудование, выпущенное передовыми компаниями мира. В ходе экскурсий обучающиеся знакомятся с современными диагностическими системами и комплексами, организуются встречи обучающихся со специалистами, обслуживающими современное оборудование и выпускающими высокоточную продукцию.



## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### *Вопросы к рейтинг-контролю №1*

1. Расскажите общее устройство и принципы работы, присущие любому СЗМ.
2. Каковы основные типы сканеров, применяемых в СЗМ?
3. Какое основное физическое явление лежит в основе СТМ?
4. Каким образом реализуется режим постоянной высоты СТМ?
5. Каким образом реализуется режим постоянного тока СТМ?
6. Какие ограничения на свойства исследуемых материалов накладывает СТМ?
7. Каким образом реализуется режим сканирующей туннельной спектроскопии?
8. Приведите примеры использования СТМ при исследовании наноматериалов.
9. Изобразите силовую кривую, характеризующую взаимодействие между зондом и поверхностью. Какие участки кривой каким основным режимам АСМ соответствуют?
10. Каким образом реализуется режим постоянной высоты в контактной АСМ?
11. Каким образом реализуется режим постоянной силы в контактной АСМ?
12. Какие деформации кантилевера регистрируются в режиме микроскопии сил трения?
13. Какие свойства поверхности могут быть измерены с помощью микроскопии модуляции силы и атомно-силовой акустической микроскопии?
14. Изобразите зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и поверхностью. Каким образом можно определить расстояния, на которых реализуется режим притяжения и режим отталкивания между зондом и поверхностью?
15. Каким образом реализуется режим отображения фазы в бесконтактной или полуконтактной АСМ? Какие дополнительные свойства материалов могут быть исследованы в этом режиме?
16. Какие основные типы артефактов могут наблюдаться на изображениях СЗМ?
17. В чем сущность двухпроходных методик СЗМ?
18. Какие измеряемые физические величины могут быть использованы в МСМ для получения магнитного контраста на изображениях?
19. Какие типы электромеханического взаимодействия возможны между кантилевером и образцом в контактном режиме?
20. Приведите несколько вариантов реализации двухпроходных методик СЗМ для измерения электрических свойств материалов.
21. В чем заключается эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острия проводящего зонда?
22. Какие основные типы воздействий зонда на поверхность образца используются в режимах сканирующей зондовой литографии?
23. Какие существуют варианты визуализации изображений СЗМ?
24. Какие методы математической обработки могут быть использованы для коррекции изображений СЗМ?
25. Какие существуют методы статистического анализа изображений СЗМ? Какие объекты являются предметом анализа?

### *Вопросы к рейтинг-контролю №2*

1. Что такое оже-эффект?
2. Назовите виды оже-спектроскопии, различающиеся по способу ионизации основного уровня.

3. Назовите характерные значения энергии первичных электронов, используемых в оже-электронной спектроскопии.
4. В чем преимущество дифференциального представления оже-спектров?
5. Чем определяется кинетическая энергия оже-электрона?
6. Почему для CVV оже-переходов ширина спектральных линий обычно больше, чем для ССС переходов?
7. Как видоизменяется форма спектральной линии оже-электронов в случае, когда энергия взаимодействия дырок в конечном состоянии велика по сравнению с шириной валентной зоны?
8. От чего зависит интенсивность оже-электронных линий?
9. Можно ли наблюдать оже-электронные спектры лития в газовой фазе и почему?
10. Каково пространственное разрешение метода ОЭС?
11. Что такое процесс Костера–Кронига?
12. Чем определяется разрешение в просвечивающем электронном микроскопе?
13. Какие виды электронов анализируются в сканирующем электронном микроскопе?
14. Какие известны зондовые методы анализа наносистем?
15. Что такое оптическая ближнепольная микроскопия и где она может быть использована?
16. Какие известны методы оптической спектроскопии наносистем и на чем основано их использование?
17. Какие ограничения накладывает дифракционный предел на пространственное разрешение классической оптической микроскопии?
18. Какое конструктивное решение реализовано в конфокальной оптической микроскопии для повышения пространственного разрешения?
19. Какие дополнительные возможности дает сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния?
20. В чем заключается основная идея реализации сканирующей ближнепольной оптической микроскопии, обеспечивающая многократное увеличение разрешающей способности методики?

*Вопросы к рейтинг-контролю №3*

1. Оцените время заполнения 1 МЛ поверхности при  $p=10^{-9}$  Торр и  $T=300$  К.
2. Дайте физическую интерпретацию химического сдвига в рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).
3. Объясните различие измерения энергии связи в металлах и полупроводниках в РФЭС.
4. Обоснуйте плазмонный механизм формирования длины свободного пробега фотоэлектронов.
5. При каком режиме возбуждения основных электронов (адиабатическом или внезапном) будет наблюдаться рождение электрон-дырочных пар?
6. Назовите необходимое условие существования спин-орбитального расщепления в РФЭС.
7. Объясните эффекты начального и конечного состояния в РФЭС.
8. Какие спутники могут наблюдаться в РФЭ спектрах?
9. Чем различается спин-орбитальное и мультиплетное расщепление?
10. Объясните причину асимметричной формы РФЭ спектров. В чем заключается явление ортогональной катастрофы Андерсона?
11. Зачем нужно охлаждать анод рентгеновской пушки?
12. Каков принцип работы полусферического анализатора?
13. Интерпретация зависимости длины свободного пробега электрона в твердом теле от его кинетической энергии.
14. Как реализуются измерения плотности электронных состояний и локальной работы выхода в СТМ? Можно ли строго определить локальную работу выхода и

- плотность состояний в данной точке? Или же СТМ позволяет только рассмотреть контраст этих величин по поверхности образца
15. Что такое уровень Ферми в металле? Нарисуйте зонную диаграмму туннельного контакта металл-металл при наличии напряжения смещения. Какие электроны на этой диаграмме вносят преимущественный вклад в ток?
  16. Опишите основные методы изготовления СТМ-зондов и их параметры.
  17. Требуется ли для проведения СТМ-исследований определенная степень вакуума? Если да, то какая? Если нет, то почему?
  18. Методы и область применения рентгеновского флуоресцентного анализа (RFA)
  19. Методы и область применения абсорбционной рентгеновской спектроскопии (XAFS, EXAFS, XANES)
  20. Рентгенооптические методы исследования наноструктур: рефлектометрия, рефрактометрия, рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние (SAXS, GISAXS).

### Вопросы к зачету

1. Расскажите общее устройство и принципы работы, присущие любому СЗМ.
2. Каковы основные типы сканеров, применяемых в СЗМ?
3. Какое основное физическое явление лежит в основе СТМ?
4. Каким образом реализуется режим постоянной высоты СТМ?
5. Каким образом реализуется режим постоянного тока СТМ?
6. Какие ограничения на свойства исследуемых материалов накладывает СТМ?
7. Каким образом реализуется режим сканирующей туннельной спектроскопии?
8. Приведите примеры использования СТМ при исследовании наноматериалов.
9. Изобразите силовую кривую, характеризующую взаимодействие между зондом и поверхностью. Какие участки кривой каким основным режимам АСМ соответствуют?
10. Каким образом реализуется режим постоянной высоты в контактной АСМ?
11. Каким образом реализуется режим постоянной силы в контактной АСМ?
12. Какие деформации кантилевера регистрируются в режиме микроскопии сил трения?
13. Какие свойства поверхности могут быть измерены с помощью микроскопии модуляции силы и атомно-силовой акустической микроскопии?
14. Изобразите зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и поверхностью. Каким образом можно определить расстояния, на которых реализуется режим притяжения и режим отталкивания между зондом и поверхностью?
15. Каким образом реализуется режим отображения фазы в бесконтактной или полуконтактной АСМ? Какие дополнительные свойства материалов могут быть исследованы в этом режиме?
16. Какие основные типы артефактов могут наблюдаться на изображениях СЗМ?
17. В чем сущность двухпроходных методик СЗМ?
18. Какие измеряемые физические величины могут быть использованы в МСМ для получения магнитного контраста на изображениях?
19. Какие типы электромеханического взаимодействия возможны между кантилевером и образцом в контактном режиме?
20. Приведите несколько вариантов реализации двухпроходных методик СЗМ для измерения электрических свойств материалов.
21. В чем заключается эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острия проводящего зонда?
22. Какие основные типы воздействий зонда на поверхность образца используются в режимах сканирующей зондовой литографии?
23. Какие существуют варианты визуализации изображений СЗМ?

24. Какие методы математической обработки могут быть использованы для коррекции изображений СЗМ?
25. Какие существуют методы статистического анализа изображений СЗМ? Какие объекты являются предметом анализа?
26. Что такое оже-эффект?
27. Назовите виды оже-спектроскопии, различающиеся по способу ионизации основного уровня.
28. Назовите характерные значения энергии первичных электронов, используемых в оже-электронной спектроскопии.
29. В чем преимущество дифференциального представления оже-спектров?
30. Чем определяется кинетическая энергия оже-электрона?
31. Почему для CVV оже-переходов ширина спектральных линий обычно больше, чем для ССС переходов?
32. Как видоизменяется форма спектральной линии оже-электронов в случае, когда энергия взаимодействия дырок в конечном состоянии велика по сравнению с шириной валентной зоны?
33. От чего зависит интенсивность оже-электронных линий?
34. Можно ли наблюдать оже-электронные спектры лития в газовой фазе и почему?
35. Каково пространственное разрешение метода ОЭС?
36. Что такое процесс Костера–Кронига?
37. Чем определяется разрешение в просвечивающем электронном микроскопе?
38. Какие виды электронов анализируются в сканирующем электронном микроскопе?
39. Какие известны зондовые методы анализа наносистем?
40. Что такое оптическая ближнепольная микроскопия и где она может быть использована?
41. Какие известны методы оптической спектроскопии наносистем и на чем основано их использование?
42. Какие ограничения накладывает дифракционный предел на пространственное разрешение классической оптической микроскопии?
43. Какое конструктивное решение реализовано в конфокальной оптической микроскопии для повышения пространственного разрешения?
44. Какие дополнительные возможности дает сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния?
45. В чем заключается основная идея реализации сканирующей ближнепольной оптической микроскопии, обеспечивающая многократное увеличение разрешающей способности методики?
46. Оцените время заполнения 1 МЛ поверхности при  $p=10^{-9}$  Торр и  $T=300$  К.
47. Дайте физическую интерпретацию химического сдвига в рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).
48. Объясните различие измерения энергии связи в металлах и полупроводниках в РФЭС.
49. Обоснуйте плазмонный механизм формирования длины свободного пробега фотоэлектронов.
50. При каком режиме возбуждения остовных электронов (адиабатическом или внезапном) будет наблюдаться рождение электрон-дырочных пар?
51. Назовите необходимое условие существования спин-орбитального расщепления в РФЭС.
52. Объясните эффекты начального и конечного состояния в РФЭС.
53. Какие спутники могут наблюдаться в РФЭ спектрах?
54. Чем различается спин-орбитальное и мультиплетное расщепление?
55. Объясните причину асимметричной формы РФЭ спектров. В чем заключается явление ортогональной катастрофы Андерсона?
56. Зачем нужно охлаждать анод рентгеновской пушки?

57. Каков принцип работы полусферического анализатора?
58. Интерпретация зависимости длины свободного пробега электрона в твердом теле от его кинетической энергии.
59. Как реализуются измерения плотности электронных состояний и локальной работы выхода в СТМ? Можно ли строго определить локальную работу выхода и плотность состояний в данной точке? Или же СТМ позволяет только рассмотреть контраст этих величин по поверхности образца
60. Что такое уровень Ферми в металле? Нарисуйте зонную диаграмму туннельного контакта металл-металл при наличии напряжения смещения. Какие электроны на этой диаграмме вносят преимущественный вклад в ток?
61. Опишите основные методы изготовления СТМ-зондов и их параметры.
62. Требуется ли для проведения СТМ-исследований определенная степень вакуума? Если да, то какая? Если нет, то почему?
63. Методы и область применения рентгеновского флуоресцентного анализа (RFA)
64. Методы и область применения абсорбционной рентгеновской спектроскопии (XAFS, EXAFS, XANES)
65. Рентгенооптические методы исследования наноструктур: рефлектометрия, рефрактометрия, рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние (SAXS, GISAXS).

### **Самостоятельная работа студентов**

#### *Темы рефератов:*

1. История развития сканирующей зондовой микроскопии.
2. Вычисление туннельного тока СТМ.
3. Атомное разрешение СТМ.
4. Виртуальные атомно-силовые микроскопы.
5. Технологии изготовления АСМ и СТМ-зондов.
6. Исследование механических свойств поверхностей методами АСМ.
7. Атомно-силовая микроскопия в биологии.
8. Тест-объекты для калибровки АСМ: сравнение характеристик.
9. Артефакты АСМ и методы борьбы с ними.
10. Возможности совмещения атомно-силового микроскопа с другими исследовательскими приборами.
11. Общее устройство и принципы работы СЗМ: зондовые датчики, сканирующие элементы, типы взаимодействия, роль обратной связи.
12. Основные типы сканирующих элементов и механизмов подвода и перемещения зонда относительно поверхности образца. Методы защиты СЗМ от механических вибраций, акустического воздействия и термических дрейфов.
13. Физические основы СТМ. Туннельный эффект в квази-классическом приближении. Туннельный ток в системах металл-диэлектрик-металл и металл-диэлектрик-полупроводник. Ограничения СТМ.
14. Устройство и принцип работы СТМ. Режимы постоянного тока и постоянной высоты, реализация атомарного разрешения, методы изготовления зондов.
15. Сканирующая туннельная спектроскопия и другие методики измерений, основанные на СТМ: измерение локальной работы выхода и распределения плотности электронных состояний, измерение кривых подвода и оценка качества зондов.
16. Кантилеверы – зондовые датчики для АСМ: основные типы, технология изготовления, геометрические и механические свойства.
17. Потенциал взаимодействия зонда с образцом в АСМ. Зависимость силы взаимодействия от расстояния между зондом и образцом – контактный, полуконтактный и бесконтактный режимы АСМ.

18. Устройство и принцип работы СЗМ в режиме контактной АСМ. Режимы постоянной высоты и постоянной силы, реализация атомарного разрешения. Ограничения методики контактной АСМ.

19. Исследование механических свойств материалов с помощью контактной АСМ. Микроскопия сил трения. Микроскопия модуляции силы. Атомно-силовая акустическая микроскопия.

20. Теория механических колебаний кантилевера. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и образцом. Бесконтактный и полуконтактный режимы колебаний кантилевера.

21. Устройство и принцип работы СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах АСМ. Метод отображения фазы. Преимущества и недостатки бесконтактной и полуконтактной методик по сравнению с контактной АСМ.

22. Параметры, влияющие на качество и пространственное разрешение изображений, получаемых с помощью СЗМ, источники искажений и артефактов. Искажения, обусловленные несовершенством сканирующих элементов, и методы их компенсации. Влияние формы зондов на качество изображений, эффект конволюции.

23. Исследование магнитных свойств материалов методом МСМ. Особенности взаимодействия зонда, имеющего магнитное покрытие, с магнитным полем образца, проблема топографических артефактов и качество получаемых изображений.

24. Реализация двухпроходных магнитных методик. Квазистатические и колебательные методики магнитной силовой микроскопии.

25. Исследование электрических свойств материалов с помощью СЗМ. Зондовые датчики для электрических методик измерения. Электромеханическое взаимодействие между кантилевером и образцом в контактом режиме. Факторы, определяющие пространственное разрешение, достижимое в контактных электрических методиках.

26. Контактные электрические методики СЗМ: сканирующая микроскопия сопротивления растекания и контактная сканирующая емкостная микроскопия. Основные принципы реализации, измеряемые величины, примеры использования.

27. Контактные электрические методики СЗМ: силовая микроскопия пьезоэлектрического отклика и сканирующая микроскопия нелинейной диэлектрической проницаемости. Основные принципы реализации, измеряемые величины, примеры использования.

28. Реализация электрических двухпроходных методик СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах. Особенности вынужденных колебаний кантилевера при электростатическом взаимодействии зонда с поверхностью при приложении постоянного и переменного электрического напряжения между зондом и образцом. Электрическая силовая микроскопия.

29. Микроскопия поверхностного потенциала (метод зонда Кельвина). Сканирующая емкостная микроскопия. Основные принципы реализации, измеряемые величины, примеры использования.

30. Преимущества методов оптической микроскопии по сравнению с другими типами микроскопии. Дифракционный предел пространственного разрешения классической оптической микроскопии. Идея конфокальной оптической микроскопии, повышение пространственного разрешения.

31. Принцип действия и реализация сканирующей лазерной конфокальной микроскопии, трехмерное сканирование, горизонтальное и вертикальное разрешение методики в сравнении с классической оптической микроскопией.

32. Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния: физические основы, техническая реализация и аналитические возможности.

33. Области ближнего и дальнего поля при прохождении света через субволновую диафрагму, преодоление оптического дифракционного предела, идея сканирующего ближнепольного оптического микроскопа.

34. Устройство, принцип действия, типы используемых зондов и основные режимы работы сканирующего ближнепольного оптического микроскопа.

35. Безапертурная сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острия проводящего зонда.

36. Физические основы литографии в различных режимах СЗМ. Векторная и растровая зондовая литографии.

37. Обработка результатов СЗМ. Основные типы данных, получаемых при измерениях с помощью СЗМ и варианты их представления. Методы коррекции изображений на примере обработки результатов измерения топографии поверхности.

38. Количественный анализ изображений СЗМ. Использование преобразования Фурье и функции автокорреляции для определения геометрических характеристик периодических и квазирегулярных структур. Проведение статистического анализа изображений: определение шероховатости, статистика зерен, фрактальный анализ.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

*а) основная литература (библиотечная система ВлГУ):*

1. Особенности электропроводности наноструктурированных систем [Электронный ресурс]: учебное пособие / С. М. Аракелян [и др.]; Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ). – Электронные текстовые данные (1 файл: 1,5 Мб). – Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), 2015. – 108 с. ISBN 978-5-9984-0585-3 <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/4346/1/01453.pdf>>.
2. Введение в фемтонанофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учебное пособие/ С.М. Аракелян [и др.]; под общ. ред. С.М. Аракеяна. – Москва: Логос, 2015. – 743 с.: ил., табл. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (211 Мб). – С.М. Аракелян, А.О. Кучерик, В.Г. Прокошев, В.Г. Рау, А.Г. Сергеев - преподаватели ВлГУ. – ISBN 978-5-98704-812-2.
3. Зондовые нанотехнологии в электронике [Электронный ресурс] / Неволин В.К. - Издание 2-е, исправленное. - М. : Техносфера, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363820.html>
4. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Часть 1 / Филимонова Н.И., Кольцов Б.Б. - Новосибир.: НГТУ, 2013. - 134 с.: ISBN 978-5-7782-2158-1. <http://znanium.com/bookread2.php?book=546601>
5. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э.Ф. Вознесенский, Ф.С. Шарифуллин, И.Ш. Абдуллин. - Казань: Издательство КНИТУ, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215457.html>

*б) дополнительная литература (библиотечная система ВлГУ):*

1. Лазерное наноструктурирование материалов: методы реализации и диагностики [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.М. Аракелян [и др.]; Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Электронные текстовые данные (1 файл: 11,2 Мб). — Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010. — 140 с.: ил., табл. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 138-139. — Свободный доступ. — Adobe Acrobat Reader 4.0. — ISBN 978-5-9984-0083-4. — <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2105/3/00698.pdf>>.
2. Микроструктуры, наноструктуры и гидродинамические неустойчивости, индуцированные лазерным излучением на поверхности твердых тел [Электронный ресурс]: монография / С.М. Аракелян [и др.]; Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Электронные текстовые данные (1 файл: 11,7 Мб). — Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010. — 145 с.: ил., табл. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 133-144. — Свободный доступ в электронных читальных залах библиотеки. — Adobe Acrobat Reader. — ISBN 978-5-9984-0094-0. — <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3067/1/00698.pdf>>.
3. Беляев И.В. Информационный каталог современного экспериментального оборудования и научных приборов на базе научно-образовательных организаций и ведущих предприятий Владимирской области / И.В. Беляев, В.А. Кечин, Г.А. Гладкий; Владимирская область, Администрация; НОЦ "Функциональные наноматериалы и ресурсосберегающие технологии" ВлГУ. – Владимир: Владимирский государственный университет Владимирский государственный



- университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (ВлГУ), 2011. – 44 с.  
<URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2993/1/00588.pdf>>.
4. Методы получения и исследования наноматериалов и нано-структур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.Д. Мишина и др.; под ред. А.С. Сигова. - 4-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996323609.html>
  5. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение [Электронный ресурс] / под ред. У. Жу, Ж.Л. Уанга ; пер. с англ. - 2-е изд. - М. : БИНОМ, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996321230.html>

*в) периодические издания (библиотечный фонд ВлГУ):*

1. Приборы и техника эксперимента. – Москва: Наука.
2. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика: научно-технический и производственный журнал. – Москва: НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ.
3. Контрольно-измерительные приборы и системы. – Москва: ЭЛИКС+, 2007-2013.
4. Электровакuumные и твердотельные приборы. Приборы микро- и нанoeлектроники: реферативный журнал (РЖ): электронное издание / Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН). – Москва: ВИНИТИ РАН, 2011-2013.

*г) Интернет-ресурсы:*

<http://www.mashportal.ru/>  
<http://www.soyuzmash.ru/>  
<http://www.portalnano.ru/>  
<http://www.ru-tech.ru/pub/nano>  
<http://www.ntsр.info/>  
<http://www.nanotech.ru/>  
<http://www.nanonewsnet.ru/>  
<http://nano-info.ru/>  
<http://www.rusnanoforum.ru/>  
<http://www.iacnano.ru/>  
<http://www.nanometer.ru/>  
<http://www.nanoprom.net/>  
[www.rusnano.com](http://www.rusnano.com)  
<http://www.nanobusiness.fi/>  
<http://www.ntmdt.ru>  
<http://www.nanoscopy.net>

#### **Учебно-методические издания**

1. Жданов А.В. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Методы диагностики в нанотехнологиях» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
2. Жданов А.В. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Методы диагностики в нанотехнологиях» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Жданов А.В. Оценочные средства по дисциплине «Методы диагностики в нанотехнологиях» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс]

/сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»,  
необходимых для освоения дисциплины**

1) Портал Центр дистанционного обучения ВлГУ [электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

2) Раздел официального сайта ВлГУ, содержащий описание образовательной программы [электронный ресурс] / - Режим доступа: Образовательная программа 28.03.02 «Наноинженерия» <http://op.vlsu.ru/index.php?id=169>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения учебного процесса по дисциплине «Методы диагностики в нанотехнологиях» предусмотрено использование следующих лабораторий кафедры ТМС и НОЦ «Нанотехнологии» ВлГУ.

### 1. Лаборатория нанодиагностики и фемтосекундной лазерной техники (ауд. 118-4).

*Краткая характеристика помещения:*

Общая площадь – 102 кв.м (2 этажа). 1 этаж – лабораторное и производственное оборудование (67 кв.м), компьютерный класс на 16 посадочных мест; 2 этаж – вспомогательные помещения, кондиционер. Соответствуют нормам СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.4.3.1186-03, ППБ 01-03, СнП 21-01-97, СнП 23-05, НПБ 104-03.

*Оборудование:*

1) Чистая комната:

2) установка фемтосекундная лазерная "упорядоченного наноструктурирования"

(РФ):

- имеет 3 рабочих длины волны, ультрафиолет, зеленый, и инфракрасный луч;
- 2 участка обработки (100x100 мм; 20x20 мм с возможностью позиционирования с точностью до 2 нм);
- диаметр пучка около 60 микрометров в случае поля 100x100 мм;
- диаметр пучка от 0,5 микрометров (зависит от используемого объектива);
- возможность обработки и диагностики проводящих, диэлектрических, прозрачных, непрозрачных материалов.

3) зондовая лаборатория "Интегра спектра" (РФ)

Уникальная интеграция Сканирующего Зондового Микроскопа с конфокальной микроскопией/спектроскопией люминесценции и комбинационного рассеяния (КР). Благодаря эффекту гигантского усиления КР позволяет проводить КР спектроскопию и получать изображения с разрешением в плоскости до 50 нм.

Система для конфокальной оптической микроскопии представляет собой комбинированную систему, включающую конфокальный сканирующий лазерный спектрометр высокого пространственного разрешения, оптический микроскоп и универсальный сканирующий зондовый микроскоп. Система способна работать в режиме регистрации пространственного, трехмерного распределения спектров люминесценции и комбинационного рассеяния света, а также в различных режимах сканирующей зондовой микроскопии, включая наноиндентацию, наноманипуляцию и нанолитографию.

Система для сканирующей зондовой микроскопии. Одновременно с оптическим наблюдением, ИНТЕГРА Спектра позволяет исследовать объект с помощью арсенала методов сканирующей зондовой микроскопии — АСМ, МСМ, СТМ, сканирующей ближнепольной микроскопии, силовой спектроскопии. Уникальное совмещение оптических и зондовых методов в одном приборе позволяет ставить комплексные эксперименты, в которых информация о распределении оптических свойств образца и его химического состава может быть наложена на распределение его механических, электрических, магнитных и других свойств.

Система для исследования оптических свойств объекта за пределом дифракции (флуоресценция, спектроскопия комбинационного рассеяния). Отличительной чертой Нанолaborатории ИНТЕГРА Спектра является возможность исследовать оптические свойства объектов за пределом дифракционных ограничений. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия и эффекты локального усиления комбинационного рассеяния (TERS — tip enhanced Raman scattering), дают возможность картировать распределение оптических свойств (пропускание, рассеяние, поляризация света и др.), а также осуществлять спектроскопию комбинационного рассеяния с разрешением до 50 нм в плоскости XY.

**Особенности**

- Острые АСМ зонда и фокус лазерного пучка могут быть спозиционированы друг относительно друга с высокой точностью (необходимо для получения максимального эффекта КР-TERS).
- При использовании оптической схемы "на просвет" высокотемпературный объектив жестко встроен в основание АСМ. Это обеспечивает долговременную стабильность системы, необходимую для работы со слабыми сигналами.
- Часть отраженного излучения используется для построения конфокального лазерного отражения.
- Низкошумящая CCD камера с охлаждением до  $-70^{\circ}\text{C}$  (квантовая эффективность до 90%) служит высокочувствительным детектором.
- В качестве альтернативного детектора можно использовать лавинный фотодиод.
- Гибкий выбор поляризационных устройств.
- Все компоненты системы (АСМ, оптические и механические устройства) интегрированы с помощью единого программного обеспечения. Большинство ключевых узлов и устройств системы (лазеры, решетки, диафрагмы, поляризаторы и т.д.) можно выбирать и / или настраивать прямо из программы.
- Три разных схемы для работы с TERS.

Применяется для исследования биологических объектов, контроля качества поверхностей оптических деталей, излучающих полупроводниковых структур, характеристик нанооптических и интегрально-оптических элементов, исследования характеристик нанoeлектронных элементов, в частности, спектров квантовых точек.

- Исследование соединительной ткани, ДНК, вирусов.
- Определение характеристик оконечных оптических устройств.
- Спектроскопические измерения.
- Контроль химических реакций.

#### 4) дифрактометр малоуглового рассеяния SAXSess

Предназначен для анализа тонких пленок или жидкостей, может строить кристаллические решетки вещества, определять размер частиц от 10 до 100 нанометров в растворе. SAXSess позволяет исследовать нанометровые структуры от 0.2 нм до 150 нм. SAXSess может работать в режиме линейной коллимации для быстрого сбора данных изотропных образцов и в режиме точечной коллимации для изучения анизотропных (ориентированных) образцов. Две системы могут работать одновременно в режимах линейной и точечной коллимации, используя один рентгеновский источник и одну систему детектирования. Широкий набор держателей образцов позволяют исследовать практически любые типы образцов от очень низких до высоких температур. Система TrueSWAXS™ делает возможным получение информации о наноструктуре и фазовом состоянии образца за одно измерение. Системы детектирования SAXSess не нуждаются в сервисном обслуживании и обеспечивают превосходное разрешение. Быстрый сбор и совершенная обработка экспериментальных данных. Система SAXSess включает в себя специальный пакет программного обеспечения для быстрого сбора и всесторонней обработки данных. Источник рентгеновского излучения используемый в SAXSess имеет следующие особенности: долговременная стабильность работы и минимальную стоимость эксплуатации. Современная многослойная фокусирующая оптика обеспечивает высокоинтенсивный монохроматический рентгеновский пучок. Улучшенная система блока коллимации даёт сформированный первичный рентгеновский пучок и эффективно убирает паразитное рассеяние. Она определяет разрешение системы и гарантирует низкий фон. температура очень точно контролируется в диапазоне от  $-150$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Существует большой выбор держателей под самые разные типы образцов. Полупрозрачный отсекающий первичного пучка позволяет точно определить нулевой угол рассеяния и измерить интенсивность первичного пучка для определения коэффициента пропускания образца можно получать данные о мало- и широкоугловом рассеянии за одно измерение на одном и том же образце. Система SAXSess предлагает две высококласные системы детектирования, которые можно использовать альтернативно на одном приборе SAXSess

без необходимости изменения его настроек или конфигурации: • Система детектирования чувствительными пластинами обладает широким линейным динамическим диапазоном и покрывает углы рассеяния 2 до 40°. • Система детектирования CCD даёт возможность проводить автоматизированные измерения SAXS и измерения онлайн процессов во времени. Мощное и простое в работе программное обеспечение. Вместе с прибором SAXSess поставляется мощный пакет программ для сбора и оценки данных малоуглового рентгеновского рассеяния (SAXS). Оценка данных включает базовую обработку данных (получение средних значений, вычитание фона и т.д.), моделирование, устранение размытий и аппроксимацию.

#### *5) Двухлучевой сканирующий УФ/В спектрофотометр LAMBDA 25*

Двухлучевые сканирующие УФ/Вид спектрофотометры для рутинных и автоматических измерений. Эти приборы предназначены для различных промышленных, учебных, биологических и биохимических лабораторий и лабораторий по контролю окружающей среды. Они отличаются высокой стабильностью, гибкостью в выборе методов анализа, удобством представления и обработки полученных данных.

Ключевые особенности спектрофотометров серии Lambda: широкий выбор методов измерения – сканирование по длине волны, сканирование по времени (кинетические исследования) и количественный анализ (фотометрия); двухлучевая оптическая схема – высокие технические характеристики, точность и воспроизводимость получаемых данных; высокая фотометрическая точность и низкий уровень шума – правильные и надежные результаты измерений при низких концентрациях аналита; низкий уровень рассеянного света – измерения при высоких оптических плотностях; встроенная система проверки прибора (IPV) – тестирование спектрофотометра на соответствие техническим характеристикам и требованиям GLP.

Lambda 25 – спектрофотометр с фиксированной спектральной шириной щели 1 нм, соответствующий требованиям Американской, Европейской и другим национальным фармакопеям. Управление приборами, получение и обработка данных осуществляется с персонального компьютера с помощью ПО UV WinLab.

Приборы могут комплектоваться кюветами различной длины и объема, системами автоматической смены кювет и термостатирования кювет (водяное и Пельтье); автодозатором, держателями для твердых образцов и гелей, интегрирующей сферой и волоконно-оптической системой для дистанционного анализа, приставками для анализа зеркального отражения и другими приставками и аксессуарами. Кроме того, на базе спектрофотометров могут быть сконфигурированы специальные системы для анализа растворимости лекарственных препаратов и проточно-инжекционная система для непрерывного поточного анализа.

#### *б) Многофункциональный планшетный анализатор VICTOR X3 (PerkinElmer)*

Многофункциональные анализаторы предназначены для различных видов детекции оптических сигналов в планшетном формате, за исключением радиометрических методов: фотометрия; УФ-фотометрия; флуоресценция; флуоресценция с разрешением по времени; поляризационная флуоресценция; люминесценция; AlphaScreen; Label-Free. Анализаторы PerkinElmer обладают превосходной чувствительностью, гибкостью по предлагаемым конфигурациям под различные пользовательские задачи и многофункциональностью, непревзойденными техническими характеристиками. Анализаторы PerkinElmer широко известны во всем мире и завоевали неоспоримую репутацию. Анализаторы могут использоваться как для рутинных лабораторных исследований в научных и медицинских лабораториях, так и для высокопроизводительных приложений в фармацевтических и биотехнологических лабораториях. Области применения: молекулярная и клеточная биология; генетический анализ и генотипирование; иммуноферментный анализ и ферментативные реакции; анализ активности рецепторов и молекулярных взаимодействий; квантификация; токсикологические и бактериологические исследования и т.д. Анализаторы могут

работать как самостоятельно, так и в составе многофункциональных роботизированных комплексов.

Технологии детекции. *Флюоресценция*: Измерение соотношения флюоресценции на двух длинах волн, Измерение флюоресценции снизу и сверху планшеты; *Поляризационная флюоресценция*; *Флюоресценция, отсроченная по времени (TRF)*: Двухоконная TRF, Измерение эмиссии на двух длинах волн; *Люминесценция*: Постоянная люминесценция (Glow), Импульсная люминесценция (Flash), Двойная (комбинированная) люминесценция; *Фотометрия в видимой области*; *УФ-фотометрия*.

*Формат планшет*: 1 - 1536-луночные планшеты *Встроенный шейкер*: три режима: линейный орбитальный, двойной орбитальный *Встроенный температурный контроль*: от + 2°C выше тем-ры окр. среды до 50°C *Опции*: диспенсеры 1-4 канала; стекеры на 20 или 50 планшет; считыватель штрих-кодов; различные фильтры; ФЭУ красной области спектра для усовершенствования работы по технологиям LANCE и TR-FRET.

## **2. Лаборатория рентгеновской диагностики материалов (ауд. 108-4).**

*Оборудование*:

### *1) Рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVANCE*

D8 ADVANCE –лабораторный дифрактометр позволяет решать практически весь комплекс существующих задач в области порошковой дифрактометрии. В приборе реализована концепция построения модульных систем DAVINCI.DESIGN, которая существенно упрощает процесс конфигурирования дифрактометра. Переход от геометрии Брегг-Брентано к параллельно-лучевой оптике происходит максимально быстро благодаря рентгенооптической TWIN-системе, в которой совмещены традиционные щели и зеркало Гёбеля, переключение между которыми происходит автоматически. Рентгеновская TWIST-трубка позволяет осуществлять переключение между точечным и линейным фокусом. Дифрактометр D8 ADVANCE дает возможность проводить исследования материалов в различных условиях: охлаждать до температуры 10 К, нагревать до 2000°C, создавать условия с повышенной влажностью. При анализе в комнатных условиях специальные загрузки образцов позволяют автоматизировать процесс измерения.

Важной составляющей частью современного дифрактометра является детектор. В дифрактометре D8 ADVANCE можно использовать энергодисперсионный детектор нового поколения SOL-XE и уже зарекомендовавшие себя в различных дифрактометрах от Bruker AXS динамические сцинтилляционные детекторы и линейные детекторы LynxEye и VANTEC-1. Прибор позволяет проводить: качественный и количественный анализ кристаллических фаз, структурный анализ, определение размеров кристаллитов, анализ структурных изменений кристаллических фаз при изменении температуры, влажности и давления с использованием соответствующих камер, быстрый анализ с применением позиционно-чувствительного детектора, автоматический режим сбора данных и дальнейшая обработка результатов программным пакетом DIFFRAC<sup>P</sup>

### *2) Рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL ADVANT X Thermo Scientific (USA)*

Технические характеристики:

- высокоэффективная рентгеновская трубка 4-го поколения с Rh анодом и тонким торцевым Be окном (0,075 мм);
- максимальная мощность 5 кВт;
- пропорциональный проточный детектор (3000 имп/сек);
- системы вращения проб и программируемых коллиматорных масок;
- диапазон анализируемых концентраций от 0,0001 до 100 %;
- двухкоординатный пробоподатчик на 98 кодированных позиций для проб в кассетах.

*Направления использования*:

- элементный анализ от Be до U (от ppb до 100%) образцов в виде металлов, прессованного и свободного порошка, стёкол и жидких проб;
- анализ масел, полимеров, цемента, горных пород, стёкол, металлов, руд, огнеупоров, геологических материалов.

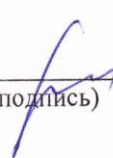
Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС  
ВО по направлению 28.03.02 «Наноинженерия»

Рабочую программу составил к.т.н., доцент Худяков А.В.   
(ФИО, подпись)

Рецензент:  
(представитель работодателя) ООО «Конструкторское бюро технологий  
машиностроения», генеральный директор


  
Дарсалия Р.Г.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения  
Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В.   
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.02 «Наноинженерия»

Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В.   
(ФИО, подпись)