

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
общей и неорганической химии



проф. Семенов В.Н.

21.06.2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.01.02 Методы исследования поверхности твердого тела**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.04.01 Химия
- 2. Профиль подготовки/специализация/магистерская программа:**  
Экспертная химия
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** магистр
- 4. Форма обучения:** очно-заочная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**  
кафедра общей и неорганической химии
- 6. Составитель программы:** Семенов Виктор Николаевич, доктор химических наук, профессор
- 7. Рекомендована:** НМС химического факультета протокол от 24.05.2018, № 5
- 8. Учебный год:** 2019/20 **Семестр(ы):** 4

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель изучения дисциплины «Методы исследования поверхности твердого тел» – формирование научно-практических знаний в области исследования поверхностных явлений, приобретение навыков решения материаловедческих задач, формирование научного подхода к изучению свойств и разработке процессов модификации поверхности.

Фундаментальная задача дисциплины «Методы исследования поверхности твердого тел» дать магистрантам современные знания о поверхности как специфическом объекте исследования, ознакомление с современными физическими методами исследования структуры, элементного и химического состава поверхности.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Методы исследования поверхности твердого тел» относится к вариативной части, является дисциплиной по выбору профессионального цикла (№ дисциплины по РУП Б1.В.ДВ.01.02) и изучается в 4 семестре (второй курс магистратуры).

Изучение дисциплины базируется на знаниях в объеме федерального компонента государственного стандарта высшего образования (бакалавриат или специалитет) по направлению «Химия». Для успешного освоения программы дисциплины обучающиеся должны в достаточной мере владеть знаниями по базовым курсам: неорганической химии, физической химии, кристаллохимии, физике, а также по специальным дисциплинам – физика и химия полупроводников, физические методы исследования, химия дефектов; студенты должны уметь применять теоретические знания для решения конкретных материаловедческих задач.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ПК-2	владение теорией и навыками практической работы в избранной области химии	<u>знать:</u> способы кристаллографического описания поверхности; структуру и свойства поверхности твердых тел; закономерности адсорбции, десорбции и диффузии на поверхности; <u>уметь:</u> проводить анализ поверхности твердых материалов; <u>владеть:</u> стандартной терминологией и определениями, относящимися к поверхности.
ПК-3	готовность использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований	<u>знать:</u> принципы и общую методику физического эксперимента с использованием установок для исследования структуры, состава и физических свойств поверхности; <u>уметь:</u> выбирать методы и типы оборудования для получения информации о составе и структуре поверхности твердого тела; <u>владеть:</u> навыками обработки научно-технической информации.

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час (в соответствии с учебным планом) – 3/108.

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой.

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		...	№ семестра	...
Аудиторные занятия			4	
в том числе: лекции			4	
практические	16		4	
лабораторные				
Самостоятельная работа	92		4	
Форма промежуточной аттестации (зачет с оценкой – 0 час.)				
Итого:	108		4	

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Самостоятельная работа</b>		
1	Традиционные микроскопические методы исследования поверхности, сравнительный анализ их достоинств и недостатков.	Растровая (РЭМ) и просвечивающая (ПЭМ) электронная микроскопия, полевая эмиссионная микроскопия, полевая ионная микроскопия. Рентгеноспектральный микроанализ – принципы метода, характеристическое и тормозное рентгеновское излучение, пределы обнаружения элементов, количественный анализ. Неразрушающий послойный анализ при вариации энергии первичных электронов.
2	Использование методов сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) для изучения поверхности на атомарном и молекулярном уровне.	Основные принципы работы СТМ, получение атомарного разрешения. Использование метода вольт-амперных характеристик при изучении электронной структуры поверхности. Особенности СТМ-измерений на воздухе и в вакууме. Использование СТМ для нанолитографии.
3	Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) - метод исследования физических и химических свойств поверхности в нанометровом масштабе.	Дальнодействующие и короткодействующие силы при взаимодействии микрозонда СЗМ с поверхностью, использование различных методов регистрации для визуализации топографических, трибологических, магнитных, электрических характеристик поверхности с нанометровым разрешением.
4	Основные принципы работы атомно-силового микроскопа (АСМ).	Изучение in-situ с помощью АСМ химических процессов на поверхности, нанолитография с помощью АСМ, нанометрология с помощью АСМ, эффекты свертки, реконструкция поверхности по АСМ-изображениям. Магнитная силовая микроскопия ферромагнитных пленок. Изучение пространственного распределения магнитных сил по поверхности образца, характеристик магнитных носителей, магнитной структуры магнетиков с субмикронным разрешением, магнитных полей токовых шин.

5	Масс-спектральный анализ поверхности.	Масс-спектрометрия вторичных ионов - статический и динамический варианты.
6	Спектроскопия ионного рассеяния. Эллипсометрия.	Спектроскопия рассеяния медленных ионов для анализа поверхностных монослоев. Резерфордская спектроскопия, послойный неразрушающий анализ. Эллипсометрические измерения параметров тонких пленок на отражающих подложках: определение показателя преломления, толщины пленки, оценка общей и локальной неравномерности толщины пленки. Определение параметров тонких диэлектрических пленок методом эллипсометрии.
<b>2. Практическая работа</b>		
7	АСМ-микроскопия нанообъектов. Обработка и анализ изображения	Получение АСМ-изображений тестовых объектов. Освоение стандартных процедур для анализа топологии поверхности.
8	Магнитно-силовая микроскопия тонких пленок	Получение пространственного распределения градиента магнитных сил на поверхности ферромагнитных пленок.
9	Локальное зондовое окисление тонких пленок металлов	Исследование кинетики локального зондового окисления титана.
10	Силовая микроскопия пьезоотклика	Исследование свойств и структуры сегнетоэлектрических материалов.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Традиционные микроскопические методы исследования поверхности, сравнительный анализ их достоинств и недостатков.	–	–	–	12	12
2	Использование методов сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) для изучения поверхности на атомарном и молекулярном уровне.	–	–	–	12	12
3	Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) - метод исследования физических и химических свойств поверхности в нанометровом масштабе.	–	–	–	12	12
4	Основные принципы работы атомно-силового микроскопа (АСМ).	–	–	–	12	12
5	Масс-спектральный анализ поверхности.	–	–	–	12	12
6	Спектроскопия ионного рассеяния. Эллипсо-	–	–	–	12	12

	метрия.					
7	АСМ-микроскопия нано-объектов. Обработка и анализ изображения	–	4	–	5	9
8	Магнитно-силовая микроскопия тонких пленок	–	4	–	5	9
9	Локальное зондовое окисление тонких пленок металлов	–	4	–	5	9
10	Силовая микроскопия пьезоотклика	–	4	–	5	9
	Итого:	–	16	–	92	108

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для изучения дисциплины студентам рекомендуется работа с презентационным материалом, изучение основных и дополнительных литературных источников, а также литературы для самостоятельной работы. Закрепление теоретического материала должно осуществляться на практических занятиях.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Головин Ю. И. Введение в нанотехнику / Ю.И. Головин. – М. : Машиностроение, 2007. – 493 с.
2	Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : (в 3 т.) / Науч.-производств. комплекс "Технол. центр" Моск. гос. ин-та электрон. техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А.Н. Саурова. – М. : Техносфера, 2010
3	Методы нанолитографии. Достижения и перспективы / Г.С. Константинова [и др.]. – Ростов н/Д : ТЕРРА-ПРИНТ, 2008. – 112 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Пул, Ч.П. Нанотехнологии : учебное пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул, Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина; доп. В. В. Лучина. – 2-е изд., доп. – М. : Техносфера, 2006. – 334 с.
5	Суздаев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев. – М. : КомКнига, 2006. – 589 с.
6	Бахтизин Р.З. Сканирующая туннельная микроскопия - новый метод изучения поверхности твердых тел / Р.З. Бахтизин // Соросовский образовательный журнал. 2000. – №11. – С. 83-89.
7	Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для студентов старших курсов вузов / В. Миронов ; Рос. акад. наук, Ин-т физики микроструктур. – М. : Техносфера, 2005. – 143 с.
8	Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В. Неволин. – М. : Техносфера, 2005. – 147 с.
9	Введение в физику поверхности / К. Оура [и др.] ; Рос. акад. наук, Дальневост. отд-ние, Ин-т автоматизации и процессов управления ; отв. ред. В.И.Сергиенко. – М. : Наука, 2006. – 490 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru">https://www.lib.vsu.ru</a>
2	<a href="http://ntmdt-si.ru/">http://ntmdt-si.ru/</a>
3	<a href="http://www.fnm.msu.ru">www.fnm.msu.ru</a>
4	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
5	<a href="http://www.kcmf.vsu/">http://www.kcmf.vsu/</a>

#### 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Исследование наноструктурированных материалов методом растровой электронной микроскопии : учебно-методическое пособие для вузов / сост. : Ю.А. Юраков, А.С. Леньшин, П.В. Середин. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. – 12 с.
2	Основы аналитической электронной микроскопии / Под ред. Грена Дж., Гольдштейна Дж., Джоя Д., Ромига А. – М: Металлургия, 1990. – 584 с.

#### 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

#### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийная техника: ноутбук, проектор, экран.

#### 19. Фонд оценочных средств:

##### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-2 владение теорией и навыками практической работы в избранной области химии	Знать: способы кристаллографического описания поверхности; структуру и свойства поверхности твердых тел; закономерности адсорбции, десорбции и диффузии на поверхности	Все разделы	Устный опрос
	Уметь: проводить анализ поверхности твердых материалов	Все разделы	Устный опрос
	Владеть: стандартной терминологией и определениями, относящимися к поверхности.	Все разделы	Устный опрос
ПК-3 готовность использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований	Знать: принципы и общую методику физического эксперимента с использованием установок для исследования структуры, состава и физических свойств поверхности;	Все разделы	Устный опрос
	Уметь: выбирать методы и типы оборудования для получения информации о составе и структуре поверхности твердого тела	Все разделы	Устный опрос
	Владеть: навыками обработки на-	Все разделы	Устный опрос

	учно-технической информации		
Промежуточная аттестация			КИМ

## 19.2. Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете используются следующие показатели:

- 1) владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины);
- 2) способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 3) применять теоретические знания для решения практических задач по оценке свойств и структуры поверхности твердых тел;
- 4) знание микроскопических методов исследования поверхности.

Для оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Ответы на все основные и дополнительные экзаменационные вопросы полные и аргументированные. Ответы логически последовательные, четкие. Магистрант продемонстрировал умение делать выводы, обобщать знания основной и дополнительной литературы, умение использовать понятийный аппарат, знание проблем, суждений по различным вопросам дисциплины. Ответ обучающегося соответствуют в полной мере всем перечисленным показателям.	Повышенный уровень	Отлично
Ответы на все основные и дополнительные экзаменационные вопросы полные и аргументированные. Ответы должны отличаться логичностью, четкостью, знанием учебной литературы по теме вопроса. Возможны некоторые упущения при ответах, однако основное содержание вопроса должно быть раскрыто полно. Ответ соответствует не полному освоению компетенций	Базовый уровень	Хорошо
Неполные, слабо аргументированные ответы, свидетельствующие об элементарных знаниях учебной литературы, неумении применения теоретических знаний при решении практических задач, что показывает недостаточное владение компетенциями.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Знания несистематические, отрывочные; в ответах допущены грубые, принципиальные ошибки, которые не устраняются после наводящих вопросов преподавателя. Отказ от ответа. Компетенции не освоены.	–	Неудовлетворительно

## 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Рельеф поверхности, основные способы описания и параметры шероховатости.

2. Поверхностные явления и фазовые превращения в конденсированных пленках.
3. Объекты нанометрового масштаба и пониженной размерности.
4. Атомные манипуляции: перемещение атомов вдоль поверхности, удаление атомов, осаждение атомов.
5. Традиционные микроскопические методы исследования поверхности, сравнительный анализ их достоинств и недостатков.
6. Растровая (РЭМ) и просвечивающая (ПЭМ) электронная микроскопия.
7. Рентгеноспектральный микроанализ – принципы метода, характеристическое и тормозное рентгеновское излучение, пределы обнаружения элементов, количественный анализ.
8. Использование методов сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) для изучения поверхности на атомарном и молекулярном уровне.
9. Изучение in-situ с помощью АСМ химических процессов на поверхности.
10. Резерфордовская спектроскопия - послойный неразрушающий анализ.
11. Масс-спектральный анализ поверхности.
12. Физико-химические основы метода локального зондового окисления.
13. Локальное зондовое окисление пленок металлов и полупроводников.
14. Применение методов СЗМ для анализа и модификации полупроводниковых структур.
15. Исследование металлов методами сканирующей зондовой микроскопии.
16. Анализ шероховатости поверхности методом АСМ.
17. Принцип МСМ. Исследование магнитных свойств ферромагнитных материалов.
18. Зондовые технологии создания элементной базы нанoeлектроники.
19. Исследование электрофизических характеристик тонкопленочных полупроводниковых структур.
20. Силовая микроскопия пьезоотклика.
21. Исследование свойств и структуры сегнетоэлектрических материалов.
22. Физико-химические основы метода локального зондового окисления.
23. Локальное анодное окисление тонких пленок ферромагнитных металлов.
24. Локальное зондовое окисление пленок титана.

#### **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.