

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

*А.В. Толстиков*

А.В. Толстиков

29 января 2022 г.

**ДИАГНОСТИКА НАНОМАТЕРИАЛОВ**

Рабочая программа

для обучающихся по научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база  
микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств  
форма обучения (очная)

Удовиченко С.Ю. Диагностика наноматериалов. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, форма обучения (очная). Тюмень, 2022.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ (приказ Минобрнауки России № 951 от 20 октября 2021 года).

Рабочая программа дисциплины Диагностика наноматериалов опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью дисциплины является углубленное изучение методов исследования наноматериалов и наноструктур с помощью электронной и зондовой микроскопии, а также вторично-ионной масс-спектрометрии.

Задачи дисциплины:

- исследование наноматериалов с помощью сканирующей силовой микроскопии (ССМ),
- использовании вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) в исследованиях элементного состава материалов,
- исследование проводящих и слабопроводящих наноматериалов, биологических и геологических образцов с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ).

### 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

ПК-2: умение выбрать и применять современное технологическое и аналитическое оборудование, необходимое для создания и исследования материалов и электронных компонент микро- и нанoeлектроники;

ПК-3: владение методами создания и исследования материалов и электронных компонент микро- и нанoeлектроники.

### 3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре
			4 семестр
<b>Общая трудоемкость</b>	зач. ед.	3	3
	час	108	108
Из них:			
<b>Часы аудиторной работы (всего):</b>		22	22
Лекции		12	12
Практические занятия		10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
<b>Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося</b>		50	50
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, кандидатский экзамен)		36	Дифференцированный зачет 36

### 4. Система оценивания

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет.

Необходимым условием допуска к зачёту является сдача контрольной работы. Аспиранты сдают зачёт в устной форме по вопросам из пункта 7.1. Вопросы на зачёте задаёт принимающий его преподаватель. Зачет проходит в устной форме, аспиранту дается 45 минут на подготовку к вопросу.

**Критерии оценки результатов дифференциального зачета:**

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- безошибочное знание фактического материала;

- историографические знания в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное использование в ответах терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- отдельные ошибки при изложении фактического материала;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить только одну из проблем, сформулированных в билетах

вопросов;

- ошибки при изложении фактического материала;
- нарушение логичности и связности ответа.

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;

- грубые ошибки при изложении фактического материала;
- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- нарушение логичности, связности ответа.

Контрольная работа оценивается по следующей шкале:

2 («неудовлетворительно») - задание не выполнено; при выполнении задания допущены существенные ошибки; отсутствие общей идеи, системы, частичное выполнение задания.

3 («удовлетворительно») - выполнение задания с несущественными 1-2 ошибками.

4 («хорошо») - выполнение без ошибок в соответствии с заданием.

5 («отлично») - выполнение без ошибок, творческий подход, содержание шире задания.

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
	Часов в 4 семестре	58	12	10	0	36
	Диагностика наноматериалов	58	12	10	0	36
1	Исследование наноматериалов с помощью сканирующей силовой	4	2	2	0	0

	микроскопии (ССМ) и с помощью безконтактных и полуконтактных ССМ методик					
2	Исследование биологических образцов методами ССМ	4	2	2	0	0
3	Вторично-ионная масс-спектрометрия	2	2	0	0	0
4	Исследование проводящих и диэлектрических наноматериалов с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ)	4	2	2	0	0
5	Исследование биологических образцов методами РЭМ	4	2	2	0	
6	Энергодисперсионный рентгеновский спектральный анализ РЭМ геологических образцов	4	2	2	0	0
7	Дифференцированный зачет	36	0	0	0	36
	<b>Итого часов</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>36</b>

## 5.2. Содержание дисциплины по темам

### Планы лекционных занятий

**Тема 1. Исследование наноматериалов с помощью сканирующей силовой микроскопии (ССМ) и с помощью безконтактных и полуконтактных ССМ методик.** Силовое взаимодействие. Устройство сканирующего зондового микроскопа. Контактный режим, латеральные силы. Получение, обработка и количественный анализ ССМ изображения. Исследование поверхности твердых тел методом атомно-силовой микроскопии. Профилометрия. Амплитуда и фаза колебания зонда, резонанс. Получение, обработка и количественный анализ изображения топологии, фазы, электромагнитных свойств образца.

**Тема 2. Исследование биологических образцов методами ССМ.** Подготовка препарата к ССМ. Исследование биологических объектов. Исследование естественной микрофлоры воды, идентификация микроорганизмов. Исследование кровяных телец и тканей многоклеточных организмов.

**Тема 3. Вторично-ионная масс-спектрометрия.** Вторично-ионная эмиссия. Оборудование ВИМС. Количественный анализ элементов в материале. Определение глубинных профилей концентрации элементов.

**Тема 4. Исследование проводящих и диэлектрических наноматериалов с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ).** Устройство растрового электронного микроскопа (РЭМ). Детектор вторичных электронов, детектор обратно рассеянных электронов. Настройка оптического тракта, астигматизм и вобуляция. Напыление проводящих покрытий. Изучение стока заряда с поверхности. Преодоление засветки регулированием плотности тока, ускоряющего потенциала и диафрагмы. Изучение работы нейтрализатора. Получение и анализ изображений SEI и BEIW.

**Тема 5. Исследование биологических образцов методами РЭМ.** Электронная микроскопия в низком вакууме. Напыление проводящего покрытия на образцы сложной формы. Получение РЭМ изображений в условиях низкого вакуума. Выбор скорости развертки. Настройка яркости и контраста. Получение РЭМ изображений простейших и многоклеточных организмов.

**Тема 6. Энергодисперсионный рентгеновский спектральный анализ РЭМ геологических образцов.** Устройство энергодисперсионного спектроанализатора. Зависимость размера пятна выхода рентгеновских квантов от материала образца и характеристик пучка. Получение и интерпретация рентгеновских спектров образцов керна. Массовые и атомные доли. Минимизация погрешности исследований. Картирование.

### **Планы практических занятий**

**Тема 1.** Методики по исследованию наноматериалов в безконтактных и полуконтактных режимах на сканирующем зондовом микроскопе «Интегра-Аура».

**Тема 2.** Пробоподготовка и методики исследования биологических образцов на сканирующем зондовом микроскопе «Интегра-Аура».

**Тема 3.** Метод вторично-ионной масс-спектрометрии для количественного анализа элементов в материале и определения глубинных профилей концентрации элементов.

**Тема 4.** Пробоподготовка и методы исследования проводящих наноматериалов на растровом электронном микроскопе.

**Тема 5.** Пробоподготовка и методы исследования биологических образцов на растровом электронном микроскопе.

**Тема 6.** Метод энергодисперсионного рентгеновского спектрального анализа на сканирующем электронном микроскопе.

### **Образцы средств для проведения текущего контроля**

#### **Оценочное средство: контрольная работа.**

Проводится по теоретическому материалу. Для подготовки необходимо проработать лекцию и прочитать рекомендуемую литературу по теме.

#### **Примерные темы контрольной работы.**

**Тема 1.** Исследование морфологии физических свойств наноматериалов с помощью контактных, безконтактных и полуконтактных ССМ методик на сканирующем зондовом микроскопе.

**Тема 2.** Исследование биологических образцов на сканирующем зондовом микроскопе.

**Тема 3.** Исследование элементного состава наноматериалов с помощью вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС).

**Тема 4.** Исследование структуры наноматериалов с помощью растровой электронной микроскопии.

**Тема 5.** Исследование биологических образцов с помощью растровой электронной микроскопии.

**Тема 6.** Исследование элементного состава геологических образцов с помощью энергодисперсионного рентгеновского спектрального анализа на растровом электронном микроскопе.

### 6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Исследование наноматериалов с помощью сканирующей силовой микроскопии (ССМ) и с помощью безконтактных и полуконтактных ССМ методик	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
2.	Исследование биологических образцов методами ССМ	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
3.	Вторично-ионная масс-спектрометрия	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
4.	Исследование проводящих и диэлектрических наноматериалов с помощью сканирующей электронной микроскопии (РЭМ)	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
5.	Исследование биологических и геологических образцов методами РЭМ	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
6.	Энергодисперсионный рентгеновский спектральный анализ РЭМ геологических образцов	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.

**Чтение обязательной и дополнительной литературы,** предусмотренной рабочей программой дисциплины. Контроль – на практических занятиях в устной форме при обсуждении теоретических вопросов.

**Проработка лекций** предполагает присутствие обучаемого на лекционных занятиях и конспектирование материала. Контроль – на практических занятиях в устной форме при обсуждении теоретических вопросов.

### 7. Промежуточная аттестация по дисциплине

#### 7.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Форма проведения промежуточной аттестации – зачет. Зачёт проводится устно в форме собеседования по прилагаемому ниже примерному перечню вопросов.

#### Примерный перечень вопросов к зачёту

1. Какие существуют методы структурного и химического анализа материалов.
2. Чем отличаются электронная и зондовая микроскопия.
3. Чем отличается сканирующий электронный микроскоп от просвечивающего.
4. Принцип действия и устройство электронного микроскопа.

5. Принцип действия, сканирующего растрового электронного микроскопа.
6. Устройство атомно-силового сканирующего зондового микроскопа.
7. В чем преимущества атомно-силовой микроскопии.
8. Как получить, обработать и провести количественный анализ СЗМ изображения.
9. Для чего нужен рентгеноструктурный анализ.
10. На чем основан метод вторичной ионной массспектрометрии.
11. Как измеряется элементный состав и распределение элементов по толщине наноматериала с помощью ВИМС.
12. Где используется электронная оже-спектроскопия.
13. Что такое спектроскопия обратного рассеяния Резерфорда.
14. Как получить РЭМ изображение слабопроводящих наноматериалов.
15. Как преодолеть засветку изображения.
16. Устройство энергодисперсионного спектроанализатора.
17. Интерпретация рентгеновских спектров образцов.

## 7.2 Критерии оценивания:

### Критерии оценки результатов дифференциального зачета:

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- безошибочное знание фактического материала;
- историографические знания в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное использование в ответах терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- отдельные ошибки при изложении фактического материала;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить только одну из проблем, сформулированных в билетах вопросов;

- ошибки при изложении фактического материала;
- нарушение логичности и связности ответа.

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;
- грубые ошибки при изложении фактического материала;
- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- нарушение логичности, связности ответа.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### 8.1 Основная литература:

1. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / под ред. Г.В. Малахова, П. . Витязь, К.А. Солнцев. - Минск : Белорусская наука, 2011. - 284 с. - ISBN 978-985-08-1292-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/12322.html> (28.03.2022)



### 8.2 Дополнительная литература:

1. Удовиченко С.Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники: учебное пособие // Изд-во ТюмГУ, 2016. - 228 с.; ISBN 978-5-400-01349-2; Электрон. версия печ. публикации. - Режим доступа : [https://library.utmn.ru/dl/PPS/Udovichenko\\_530\\_UP\\_2016.pdf](https://library.utmn.ru/dl/PPS/Udovichenko_530_UP_2016.pdf) (28.03.2022)

2. Анищик В.М. Дифракционный анализ : учебное пособие / В.М. Анищик, В.В. Понарядов, В.В. Углов. - Минск : Вышэйшая школа, 2011. - 216 с. - ISBN 978-985-06-1834-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/20072.html> (28.03.2022)

3. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В.К. Неволин. - Изд. 2-е, испр. - М. : Техносфера, 2014. - 174 с. : ил., схем., табл. - (Мир электроники). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-94836-382-0; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/26894.html> (28.03.2022)

### 8.3 Интернет-ресурсы:

1. Суворов Э.В. Методы исследования реальной структуры и состава материалов. Учебно-методический комплекс // М.: Изд. Дом МИСиС. 2010, 163 с. [http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Suvorov\\_book\\_new.pdf](http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Suvorov_book_new.pdf) (28.03.2022)

2. Жигжитова С.Б. Применение электронной микроскопии для исследования структуры материалов. Методическое указание для студентов, магистров технических и технологических специальностей // Улан-Удэ:Издательство ВСГУТУ. 2011, 18с. <http://www.esstu.ru/document/download.htm?documentId=4932> (28.03.2022)

2. Нагорнов Ю.С., Ясников И.С., Тюрков М.Н. Способы исследования поверхности методами атомно-силовой и электронной микроскопии. Учебное пособие // Тольятти: ТГУ. 2012, 58 с. [http://window.edu.ru/resource/127/80127/files/zond\\_microskop.pdf](http://window.edu.ru/resource/127/80127/files/zond_microskop.pdf) (28.03.2022)

4. Булыгин Е.Б. и др. Наноразмерные структуры: Классификация, формирование и исследование. Учебное пособие / М: Сайнс-Пресс, 2006. – 80 с. [http://window.edu.ru/resource/276/73276/files/bmstu\\_iu4\\_nano.pdf](http://window.edu.ru/resource/276/73276/files/bmstu_iu4_nano.pdf) (28.03.2022)

### 8.4. Современные базы данных и информационные справочные системы:

Международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science, Scopus, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef, MathSciNet, BioOne, Compendex, CiteSeerX и т.п.

### 9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Применение мультимедийного оборудования для проведения докладов-презентаций.
- Работа с Интернетом.
- Работа с информационным порталом Библиотеки ТюмГУ.

В случае дистанционной формы обучения рекомендуется использовать Microsoft Teams.

### ПО, находящееся в свободном доступе:

1. <http://www.garant.ru/> – справочная правовая система «Гарант» [Электронный ресурс].
2. <http://www.consultant.ru/> – КонсультантПлюс [Электронный ресурс].

### 10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Лекционная аудитория с мультимедийным оборудованием.

Специальная лаборатория электронной и зондовой микроскопии НОЦ "Нанотехнологии".

**Список оборудования для проведения практических занятий:**

1. Комплекс учебных микроскопов Nanoeducator.
2. Универсальный вакуумный сканирующий зондовый микроскоп «ИНТЕГРА-АУРА».
3. Электронный микроскоп JSM-6510LV-EDS с рентгеновским энерго-дисперсионным спектрометром.
4. Модуль фокусированных ионных пучков (ФИП) с устройством вторично-ионной масс-спектрометрии НТК «НаноФаб-100».

**11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями**

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

**12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы**

Самостоятельная работа включает проработку лекций, выполнение контрольной работы, подготовка к дифференцированному зачету в форме устного собеседования.

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку аспиранта к текущим аудиторным занятиям и контрольным мероприятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности аспиранта на занятиях и в качестве выполненных контрольных работ.

*При проработке лекций* рекомендуется обратиться к конспектам лекционного материала (кратко, схематично, последовательно зафиксированным основным положениям, выводам, формулировкам, обобщениям), проверить использованные в лекции термины и понятия с помощью словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.

Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.

***Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям***

Практические занятия представляют особую форму сочетания теории и практики. Их назначение – углубление проработки теоретического материала предмета путем регулярной и планомерной самостоятельной работы аспирантов на протяжении всего курса. Процесс подготовки к практическим занятиям включает изучение нормативных документов, обязательной и дополнительной литературы по рассматриваемому вопросу.

Непосредственное проведение практического занятия предполагает, например:

- индивидуальные выступления аспирантов с сообщениями по какому-либо вопросу изучаемой темы;

- фронтальное обсуждение рассматриваемой проблемы, обобщения и выводы;
- решение задач и упражнений;
- решение ситуационных производственных (профессиональных) задач;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.

- выполнение контрольных работ.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам рекомендуется: внимательно ознакомиться с тематикой практического занятия; прочесть конспект лекции по теме, изучить рекомендованную литературу; составить краткий план ответа на каждый вопрос практического занятия; проверить свои знания, отвечая на вопросы для самопроверки; если встретятся незнакомые термины, обязательно обратиться к словарю и зафиксировать их в тетради.

Все письменные задания выполнять в рабочей тетради.

Практические занятия развивают у аспирантов навыки самостоятельной работы по решению конкретных задач.

*При подготовке к дифференцированному зачету в форме устного собеседования* рекомендуется актуализация и анализ содержания материала лекционных и практических занятий; чтение обязательной и дополнительной литературы; самостоятельный поиск информации по отдельным вопросам с использованием различных видов источников.