

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ИШНПТ ТПУ
 А.Н. Яковлев





«10» июля 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
 БАЗОВАЯ**

**ЗОНДОВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
 НАНОМАТЕРИАЛОВ**

Направление (специальность) ООП	Материаловедение и технологии материалов		
Профиль (-и) подготовки (специализация, программа)	Производство изделий из наноструктурных материалов		
Квалификация	магистр		
Базовый учебный план приема (год)	2018 г.		
Курс	2	семестр	3
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения		
Лекции, ч	16		
Практические занятия, ч	48		
Лабораторные занятия, ч	-		
Контактная (аудиторная) работа (ВСЕГО), ч	64		
Самостоятельная работа, ч	152		
ИТОГО, ч	216		

Вид промежуточной аттестации	Экзамен	Обеспечивающее подразделение	отделение материаловедения
------------------------------	----------------	---------------------------------	---------------------------------------

Руководитель программы		О.Л. Хасанов
Преподаватель		А.А. Панина

2018 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного состава компетенций (результатов освоения) для подготовки к профессиональной деятельности (в соответствии с п. 3).

В частности, дать представление о зондовых методах диагностики структуры и свойств наноматериалов и научить эксплуатировать современное оборудование, используемое для этих целей.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Зондовые методы и оборудование диагностики структуры и свойств материалов» относится к Вариативному междисциплинарному профессиональному модулю Вариативной части Блока 1 общеобразовательной программы магистерской подготовки. Дисциплина является базовой для студентов, обучающихся на кафедре наноматериалов и нанотехнологий Томского политехнического университета на получение степени - магистр. В рамках дисциплины рассматриваются основные подходы и представления современных методов выявления кристаллической структуры, элементного и фазового состава конденсированных систем: зондовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия (элементный и фазовый состав, дефектная субструктура, морфология кристаллитов, кристаллогеометрия); применение компьютерных программ для обработки экспериментальных результатов. Для успешного освоения дисциплины студентам необходимо владеть базовыми знаниями по физике, математике, химии, кристаллографии (основы), материаловедению (основы). Иметь опыт работы в приложениях Microsoft Office. Рассматриваемый курс рассчитан на студентов прослушавших вводные курсы по изучению, получению и использованию наноматериалов, методов их исследования.

Пререквизиты:

0-мерные наноматериалы

Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов

Современные методы структурного анализа в материаловедении

Постреквизиты:

1. Научно-исследовательская работа
2. Преддипломная практика
3. Выпускная квалификационная работа

Кореквизиты:

1. Научно-исследовательская работа
2. Технология изготовления объемных наноматериалов

3 ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины (модуля) направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов освоения ООП), в т.ч. в соответствии с ФГОС ВО и профессиональными стандартами (табл.1):

Составляющие результатов освоения ООП

Результаты освоения ООП	Компетенции по ФГОС, СУОС	Составляющие результатов обучения					
		Код	Владение опытом	Код	Умения	Код	Знания
Р7 Эксплуатировать оборудование и обрабатывать экспериментальные результаты с целью изучения структуры и свойств наноматериалов, диагностики их эксплуатационных характеристик	(ПК-3) Исследовать состав и структуру веществ, с учетом специфики наноразмерных материалов, используя современное оборудование и программное обеспечение приборов (ПК-4) Диагностировать эксплуатационные свойства характеристики материалов с учетом наноразмерной составляющей, используя традиционное и современное оборудование и программное обеспечение приборов	В.20	Опытным определением морфологии и структуры поверхности и материалов	У.20.13.1.	Эксплуатировать оборудование сканирующей зондовой микроскопии	3.20.13.1.1.	Знать устройство сканирующего туннельного микроскопа
						3.20.13.1.2.	Знать устройство атомно-силового микроскопа
						3.20.13.1.3.	Знать устройство электросилового микроскопа
						3.20.13.1.4.	Знать устройство магнитосилового микроскопа
						3.20.13.1.5.	Знать устройство ближнепольного микроскопа
				У.20.13.2.	Определять морфологию и размеры структурных элементов материалов	3.20.13.2.1.	Знать программное обеспечение (Gwydion, ImageJ), позволяющие интерпретировать данные сканирующей зондовой микроскопии.
						3.20.13.2.2.	Знать взаимосвязь между поверхностными структурными свойствами материала и их электрическими, магнитными и оптическими свойствами
				У.20.13.3.	Обрабатывать данные, полученные с помощью сканирующих зондовых микроскопов различного типа	3.20.13.3.1.	Знать процессы, протекающие при формировании тонких пленок
						3.20.13.3.2.	Знать способы определения шероховатости и пористости поверхности исследуемых образцов
						3.20.13.3.3.	Знать специфику определения доменной структуры наноструктурированных магнитных материалов
						3.20.13.3.4.	Знать взаимосвязь топографии наноструктурированных материалов и их электрических свойств.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ лекции	СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ (Всего – 16 часов; 1 лекция – 4 часа)
МОДУЛЬ 1. ВВЕДЕНИЕ. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЗОНДОВЫХ МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ	
1	Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Электросиловая микроскопия. Магнитно-силовая микроскопия. Ближнепольная оптическая микроскопия.
МОДУЛЬ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ	
2	Принцип работы и устройство сканирующего туннельного микроскопа. Туннелирование. Аппаратура для СТМ. Измерительные методики СТМ. Физические принципы работы атомно-силового микроскопа. Режимы работы атомно-силового микроскопа: контактный, бесконтактный, полуконтактный.
МОДУЛЬ 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСИЛОВОЙ, МАГНИТНО-СИЛОВОЙ И БЛИЖНЕПОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИИ	
3	Физические основы взаимодействия зонда с образцом в ЭСМ. Аппаратура для СБОМ. Принцип работы СБОМ. Методики СБОМ. Конфигурации СБОМ.
МОДУЛЬ 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЗОНДОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА НАНОМАТЕРИАЛОВ	
4	Туннельная микроскопия 2D подложек. Туннельная спектроскопия для определения параметров проводимости структур. Изучение наноразмерных структур на поверхности трехмерных макрообъектов. Применение АСМ для измерения типа проводимости. Применение СЕМ для расчета концентрации электрически активных примесей.

№ ПЗ	СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (Всего –48 часов)
1	Общие сведения о современных приборах в зондовой микроскопии, применяемых при исследовании наноматериалов: Сканирующий туннельный микроскоп. Атомно-силовой микроскоп. Электросиловой микроскоп. Магнитно-силовой микроскоп. Ближнепольный оптический микроскоп.
2	Физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа. Физические основы СТМ. Устройство СТМ. Туннельный переход. Получение зависимости туннельного тока между образцом и зондом.
3	Режимы работы сканирующего туннельного микроскопа. Подготовка образцов для исследования материалов. Топографический режим. Точковый режим. Метод сканирующей туннельной спектроскопии (СТС). Исследование дифференциальной вольт-амперной характеристики (ВАХ). Выбор и подготовка подложек, требования к размерам и форме образца, состоянию его поверхности.
4	Физические основы атомно-силовой микроскопии. Подготовка образцов для исследования материалов с помощью атомно-силового микроскопа.

№ ПЗ	СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (Всего –48 часов)
	Физические основы АСМ. Режимы работы атомно-силового микроскопа: контактный, бесконтактный, полуконтактный. Методика наноиндентирования. Методы детектирования отклонения кантилевера. Выбор и подготовка подложек, требования к размерам и форме образца, состоянию его поверхности.
5	Конструкция учебного сканирующего зондового микроскопа NanoEducator. Универсальный датчик туннельного тока и силового взаимодействия. Сканер. Механизм автоматизированного подвода зонда к образцу.
6	Физические основы электросиловой, магнитно-силовой сканирующей ближнепольной оптической микроскопии. Физические основы ЭСМ и МСМ. Режимы работы электро-силового и магнитно-силового микроскопов. Физические основы СБОМ. Режимы работы ближнепольного оптического микроскопа
7	Применение методов сканирующей зондовой микроскопии. Туннельная микроскопия 2D подложек. Туннельная спектроскопия для определения параметров проводимости структур. Использование методов СТМ для получения топографического изображения поверхностей. Использование методов СЗМ для исследования наноструктур и поверхности твердого тела.

Структура дисциплины по разделам и видам учебной деятельности

Название раздела	Аудиторная работа (час)		СРС (час)	Итого
	Лекции	ПЗ		
Введение. Общие представления о зондовых методах исследования структуры материалов	4	12	38	54
Физические основы сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силового микроскопии	4	12	38	54
Физические основы электросиловой, магнитно-силовой и ближнепольной оптической микроскопии	4	12	38	54
Применение зондовых методов при исследовании структуры и состава наноматериалов	4	12	38	54
Итого	16	48	152	216

5. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в видах и формах, приведенных в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Основные виды и формы самостоятельной работы

Виды самостоятельной работы	Объем времени, ч
Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса	16
Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку	18
Поиск, анализ, структурирование и презентация информации	24
Выполнение индивидуальных домашних заданий	48
Подготовка к практическим занятиям	24
Подготовка к контрольной работе и экзамену	22
Итого	152

6. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации студентов Томского политехнического университета».

Максимальное количество баллов по дисциплине в семестре – 100 баллов, в т.ч.:

- в рамках текущего контроля – 80 баллов,
- за промежуточную аттестацию (экзамен) – 20 баллов.

Оценка качества освоения дисциплины (модуля) производится по результатам оценочных мероприятий.

Оценочные мероприятия текущего контроля по разделам и видам учебной деятельности приведены в Приложении «Календарный рейтинг-план изучения дисциплины».

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**7.1 Методическое обеспечение****Основная литература**

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. - М.: Техносфера, 2005. – 144 с.
Схема доступа: https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/brochures/osnovy_skaniruyushcej_zondovoj_mikroskopii.pdf
2. Карпасюк, Владимир Корнилович. Зондирующие методы исследований в материаловедении: учебное пособие / В. К. Карпасюк, А. М. Смирнов; Астраханский государственный университет (АГУ), Центр функциональных магнитных материалов. — Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2014. — 215 с.: ил.

Схема доступа:

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C347468>

Дополнительная литература

3. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. –М.: Наука, 2006. – 490 с.

Схема доступа:

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C89698>

4. Введение в фемтонанопластику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие / под ред. С. М. Аракеляна. — Москва: Логос, 2015. — 744 с.: ил..

Схема доступа:

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C330371>

5. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие / под ред. А. С. Сигова. — 2-е изд., перераб. и доп.. — Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 184 с.: ил.

Схема доступа:

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C274496>

7.2 Информационное обеспечение

6. Нанотехнологическое сообщество [Электронный ресурс]: www.nanometer.ru
7. Интернет-журнал о нанотехнологиях. [Электронный ресурс]: <http://nanodigest.ru/>
8. ЭБС «Лань» [Электронный ресурс]: https://e.lanbook.com/books/3827#nanotehnologii_header

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для выполнения исследований и организации учебного процесса используются компьютерная техника, мультимедиа проекторы, современные программные продукты. Кафедры располагает собственными компьютерными классами с общим числом компьютеров – 10 шт., объединенных в локальную сеть с выходом в Интернет (ауд. 209, 15 корпус). В рамках изучения курса предусмотрено получение практических навыков работы на сканирующем зондовом микроскопе Nanoeducator10 (НТ-МДТ, Россия), а также ознакомление со следующим оборудованием: зондовая нано-лаборатория ИНТЕГРА Аура (НТ-МДТ, Россия), рентгеновский дифрактометр «XRD-7000S», электронный дифракционный микроскоп просвечивающего типа «JEM-2100F», сканирующий (растровый) электронный микроскоп «JSM-7500FA», прибор для ионного утонения образцов (Ion Slicer).


№ п/п	Наименование	Корпус, ауд., Количество установок
1.	Учебная аудитория вместимость 50 человек для проведения лекций Мультимедиа проектор – 1 шт., компьютер	634028 Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2, строен. 1 (Учебный корпус №15),

	– 1 шт.	учебная аудитория 203
2.	Учебная аудитория вместимость 15 человек для проведения практических занятий Мультимедиа проектор – 1 шт., компьютер – 1 шт.	634028 Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2, строен. 1 (Учебный корпус №15), учебная аудитория 210
3.	Компьютерный класс вместимость 10 для обеспечения самостоятельной работы студентов Компьютер с доступом в интернет – 10 шт.	634028 Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2, строен. 1 (Учебный корпус №15), учебная аудитория 209
4.	Лаборатория зондовой микроскопии. Учебно-научный СЗМ комплекс NT-MDT Nanoeducator– 6 шт.	634028 Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2, строен. 1 (Учебный корпус №15), учебная аудитория 202
5.	Лаборатория зондовой микроскопии. Сканирующая зондовая НаноЛаборатория NT-MDT NTEGRA Aura– 1 шт.	634028 Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2 (Учебный корпус №10), учебная аудитория 039


Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС 3+ по направлению 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов.

Программа одобрена на заседании отделения материаловедения, протокол № 6 от «28» июня 2018 г.

Автор(ы):
Доцент ОМ

 /А.А. Панина/

Рецензент:
Доцент ОМ

 /Э.С. Двилис/

**Дополнительные разделы, формируемые для рабочей программы на
календарный учебный год**

9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методы и формы организации обучения (ФОО)

Методы	ФОО	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	СРС
IT-методы					
Работа в команде				+	
<i>Case-study</i>					+
Игра				+	
Методы проблемного обучения		+		+	+
Обучение на основе опыта				+	
Опережающая самостоятельная работа					+
Проектный метод					
Поисковый метод				+	+
Исследовательский метод				+	

10. СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Примеры тестовых вопросов

- №1 Техника сканирующей зондовой микроскопии.
- №2 Физические основы сканирующей зондовой микроскопии.
- №3 Конструкция и принцип действия сканирующего туннельного микроскопа
- №4 Конструкция и принцип действия атомно-силового микроскопа.
- №5 Конструкция и принцип действия магнитно-силового микроскопа.
- №6 Измерительные методики сканирующей зондовой микроскопии.
- №7 Методы приготовления объектов исследования сканирующей туннельной микроскопии;
- №8 Методы подготовки объекта исследования в атомно-силовой микроскопии;
- №9 Области применения зондовых методов исследования наноматериалов.

Темы рефератов для устного сообщения на конференц-неделе

1. Применение сканирующей зондовой микроскопии для исследования магнитных материалов.
2. Исследование керамических наноматериалов методами атомно-силовой микроскопии.
3. Использование магнитно-силовой микроскопии при исследовании структуры наноматериалов.
4. Применение методов атомно-силовой микроскопии для изучения *in situ* химических и физических процессов.
5. Исследование электрических свойств поверхности твердых тел методом электросиловой микроскопии.
6. Сканирующая ближнепольная микроскопия наноструктурных материалов.
7. Исследование свойств оксидных керамик с помощью сканирующей туннельной микроскопии.

8. Исследование морфологии тонких полупроводниковых пленок методами АСМ.
9. Способы изготовления кантилеверов сканирующего зондового микроскопа.

Пример экзаменационного билета
Экзаменационный билет 1

- 1. Сканирующий туннельный микроскоп.** Строение и принципы работы.
- 2. Атомно-силовая микроскопия.** Силовые кривые. Контактный метод.
- 3. Объясните принцип действия сканирующего оптического ближнепольного микроскопа.**