

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Лабораторный практикум по нанодиагностике
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра нанометрологии и наноматериалов
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 60 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.А. Зайцев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры нанометрологии и наноматериалов 29.05.2020

Аннотация

Курс "Лабораторный практикум по нанодиагностике" предусматривает ознакомление обучающихся с работой приборов нанодиагностики и подготовка к применению полученных знаний и навыков в самостоятельной практической работе по проектированию и изготовлению наносистем.

Задачи курса:

- приобретение учащимися практических умений и навыков в области нанодиагностики;
- подготовка слушателей к применению полученных знаний и навыков в самостоятельной практической работе.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

методику проведения измерений на растровом электронном микроскопе, атомно-силовом микроскопе, оптическом микроскопе, эллипсометре, рентгеновском дифрактометре, просвечивающем электронном микроскопе.

Уметь:

применять изученные методики для работы с оборудованием и проведения измерений толщин тонких пленок, размерных параметров нанообъектов.

Владеть:

теоретическими основами работы на растровом электронном микроскопе, атомно-силовом микроскопе, оптическом микроскопе, эллипсометре, рентгеновском дифрактометре, просвечивающем электронном микроскопе умением работать на указанном оборудовании.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Растровый электронный микроскоп.
2. Атомно-силовой микроскоп
3. Оптический микроскоп .
4. Эллипсометр.
5. Рентгеновский дифрактометр .
6. Просвечивающий электронный микроскоп.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление обучающихся с работой приборов нанодиагностики и подготовка к применению полученных знаний и навыков в самостоятельной практической работе по проектированию и изготовлению наносистем.

Задачи дисциплины

- приобретение учащимися практических умений и навыков в области нанодиагностики;
- подготовка слушателей к применению полученных знаний и навыков в самостоятельной практической работе.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации,	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи

применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- методику проведения измерений на растровом электронном микроскопе, атомно-силовом микроскопе, оптическом микроскопе, эллипсометре, рентгеновском дифрактометре, просвечивающем электронном микроскопе.

уметь:

- применять изученные методики для работы с оборудованием и проведения измерений толщин тонких пленок, размерных параметров нанообъектов.

владеть:

- теоретическими основами работы на растровом электронном микроскопе, атомно-силовом микроскопе, оптическом микроскопе, эллипсометре, рентгеновском дифрактометре, просвечивающем электронном микроскопе умением работать на указанном оборудовании.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Растровый электронный микроскоп			12	8
2	Атомно-силовой микроскоп			10	6
3	Оптический микроскоп			8	6
4	Эллипсометр			10	6
5	Рентгеновский дифрактометр			10	2
6	Просвечивающий электронный микроскоп			10	2
Итого часов				60	30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Растровый электронный микроскоп

Лабораторная работа: "Изучение и применение растрового микроскопа для исследования микро- и наносистем".

2. Атомно-силовой микроскоп

Лабораторная работа: "Изучение и применение атомно-силового микроскопа для исследования микро- и наносистем".

3. Оптический микроскоп

Лабораторная работа: "Изучение и применение оптического микроскопа для исследования микро- и наносистем".

4. Эллипсометр

Лабораторная работа: "Изучение и применение эллипсометра для исследования микро- и наносистем".

5. Рентгеновский дифрактометр

Лабораторная работа: "Изучение и применение рентгеновского дифрактометра для исследования микро- и наносистем".

6. Просвечивающий электронный микроскоп

Лабораторная работа: "Изучение и применение просвечивающего электронного микроскопа для исследования микро- и наносистем".

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Мультимедийное оборудование (проектор), проекционный экран, учебная меловая доска, компьютер (ноутбук).
Установка безмаскового совмещения и литографии Heidelberg Instruments MLA100, Вакуумная напылительная установка Torr MagSput-DC-RF, Система электронно лучевого напыления Plassys МЕВ 550 S, Система плазмохимического травления Corial 200I
Секция для электрофизических измерений на базе зондовой станции Cascade Microtech Summit 11000M
Сканирующий зондовый микроскоп NT-MDT Ntegra Prima
Растровый электронный микроскоп JEOL JSM-7001F
Просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100
Спектроскопический эллипсометр SENTECH Instruments GmbH SER 800 Рентгеновский дифрактометр Thermo ARL X'TRA

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / Голдстей Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лившин Э. — М.: Мир, 1984
2. Рид С. Электронно-зондовый микроанализ. — М.: Мир, 1979.
3. Галлямов М.О., Яминский И.В. Сканирующая зондовая микроскопия: основные принципы, анализ искажающих эффектов.
4. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. - М.: Изд-во МГУ, 1976.

Дополнительная литература

1. Вайнштейн Б.К. Кристаллография. Т.1. - М.,1979
2. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. - М.: Мир, 1981

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://lib.mipt.ru/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

- 1) выполнение лабораторных работ, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий и журнала лабораторных работ;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лабораторной работе.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра нанометрологии и наноматериалов
курс:	4
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	С.А. Зайцев, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Лабораторный практикум по нанодиагностике» обучающийся должен:

знать:

- методику проведения измерений на растровом электронном микроскопе, атомно-силовом микроскопе, оптическом микроскопе, эллипсометре, рентгеновском дифрактометре, просвечивающем электронном микроскопе.

уметь:

- применять изученные методики для работы с оборудованием и проведения измерений толщин тонких пленок, размерных параметров нанообъектов.

владеть:

- теоретическими основами работы на растровом электронном микроскопе, атомно-силовом микроскопе, оптическом микроскопе, эллипсометре, рентгеновском дифрактометре, просвечивающем электронном микроскопе умением работать на указанном оборудовании.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы для подготовки к дифф. зачету:

1. Растровый электронный микроскоп.
2. Атомно-силовой микроскоп
3. Оптический микроскоп .
4. Эллипсометр.
5. Рентгеновский дифрактометр .
6. Просвечивающий электронный микроскоп.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);

- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.