

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

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Экспериментальные методы исследований микроструктуры и поверхности твердых тел, молекул, кристаллов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: И.А. Богинская, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электродинамики сложных систем и нанофотоники 04.06.2020

Аннотация

Дисциплина «Экспериментальные методы исследований микроструктуры и поверхности твердых тел, молекул, кристаллов» представляет собой курс по изучению современных методов исследования электрофизических, оптических, морфологических характеристик функциональных материалов в виде тонких пленок, многослойных покрытий на основе диэлектриков, металлов, полупроводников, высокомолекулярных веществ и их смесей, эффективных сред.

На курсе будут изучены физико-химические основы современных методов исследования свойств материалов: зондовой микроскопии, электронной микроскопии, эллипсометрии, колебательной спектроскопии и других методов. Предусмотрен лабораторный курс, прохождение которого поможет освоить основные методы исследований на современном оборудовании. Также будут освоены основы планирования исследовательской работы и анализа полученных данных с помощью актуальных физических моделей.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Изучение студентами физических основ современных методов исследования микроструктуры, поверхностей и физико-химических свойств твердых тел. Получение практических навыков при работе с современным исследовательским оборудованием.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физики электронного строения атомов, молекул, кластеров и твердых тел;
- изучение связи между электронным строением и оптическими, электрофизическими и магнитными свойствами материалов;
- обучение студентов навыкам применения полученных знаний для решения практических задач, связанных с использованием современного исследовательского оборудования

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- современные проблемы физики, химии, материаловедения;
- Физико-химические принципы методов анализа;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- проблематику физико-химического моделирования.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- применять методологию естествознания при организации конкретных исследований;
- моделировать процессы и анализировать модели;
- использовать современные методологии и модели;
- работать с профессиональной информацией.

владеть:

- научным методом, научной картиной мира;
- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории;
- математическими методами моделирования физических задач.

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. работа
1	Современные экспериментальные методы исследования микроструктуры и поверхности твердых тел. Физико-химические принципы	6	2		6
2	Методы электронной микроскопии	4	6		10
3	Атомно-силовая микроскопия. Туннельная микроскопия. Ближнепольная микроскопия	6	8		8
4	Эллипсометрия	4	4		8
5	Спектроскопия комбинационного рассеяния и инфракрасная спектроскопия	6	6		8
6	Интерферометрия и интерференционная спектроскопия	4	4		5
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Современные экспериментальные методы исследования микроструктуры и поверхности твердых тел. Физико-химические принципы

Классификация экспериментальных методов для исследования микроструктуры. Планирование эксперимента. Анализ данных. Оптические методы. Зондовая микроскопия. Рентгеноструктурный анализ. Оптические методы исследования микроструктуры. Вибрационная спектроскопия. Физико-химические принципы методов анализа.

2. Методы электронной микроскопии

Физические основы метода электронной микроскопии. Практические аспекты применения методов электронной микроскопии для исследования поверхности и структуры твердых тел. Вторичные электроны. Обратно-рассеянные электроны. Энергодисперсионный анализ. Лабораторная работа на электронном микроскопе JCM 7000 (JEOL, Япония)

3. Атомно-силовая микроскопия. Туннельная микроскопия. Ближнепольная микроскопия

Понятие о зондовой микроскопии. Виды микроскопии. Виды взаимодействий между зондом и поверхностью. Феномен химической связи. Основные подходы к электронному строению молекул. Поверхность как отдельный вид твердого тела. Туннельный ток. Метод Кельвина. Двухпроходные методы. Лабораторная работа на атомно-силовом микроскопе Solver (NT-MDT, Россия)

4. Эллипсометрия

Основное уравнение эллипсометрии. Виды спектрометров. Особенности моделирования твердых тел: диэлектрики, тонкие пленки металлов и полупроводников, эффективные среды. Основные модели: модель полубесконечного слоя, многослойная модель, модель Друде–Лоренца. Лабораторная работа на спектральном эллипсометрическом комплексе САГ 1891 (ИФП СО РАН, Россия)

5. Спектроскопия комбинационного рассеяния и инфракрасная спектроскопия

Вибрационная структура твердого тела. Расшифровка спектров. Анализ микроструктуры на основе спектра комбинационного рассеяния. Методы расшифровки и анализа спектров. Спектры различных типов молекул и кристаллов. Лабораторная работа на спектрометре комбинационного рассеяния Alpha 300 R (WITec, Германия).

6. Интерферометрия и интерференционная спектроскопия

Интерферометр Ньютона, Майкельсона. Интерференционный микроскоп Миро. Лабораторная работа на 3D сканирующем интерферометре New View 7300 (Zygo, США)

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном. Экспериментальное оборудование для проведения лабораторных работ.

Лабораторные работы по теме:

- атомно-силовая микроскопия. Прибор Solver (NT-MDT, Россия). Измерение морфологии поверхности тонких пленок золота, нанокompозитов. Работа в Кельвин моде. Исследование магнитных характеристик покрытий;
- эллипсометрия. Прибор САГ 1891 (ИФП СО РАН, Россия). Определение дисперсии оптических характеристик тонких пленок оксида кремния, золота, кремния, металлополимерных нанокompозитов;
- спектроскопия комбинационного рассеяния. Прибор Alpha 300 R (WITec, Германия). Измерение колебательных спектров кремния, смесей полимеров, белков в точке и картирование по площади;
- 3D сканирующий интерферометр New View 7300 (Zygo, США). Построение морфологии поверхности и определение толщины тонких пленок диэлектриков.
- электронная микроскопия. Электронный микроскоп JCM 7000 (JEOL, Япония). Измерение морфологии тонких металлических пленок.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Основы сканирующей зондовой микроскопии [Текст] / В. Л. Миронов ; Рос. акад. наук, Ин-т физики микроструктур - М. Техносфера, 2004
2. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 399 с.
3. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 2 : [учеб. пособие для вузов] / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 424 с.
- .

Дополнительная литература

1. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений [Текст], [монография] / К. Накамото , -М., Мир, 1991

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

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
5. <http://ufn.ru/> «Успехи физических наук» обзоры по актуальным физическим проблемам

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Использование файлов (в формате pdf), содержащих визуальный материал для лекций в виде презентаций, а также при необходимости специализированных научных реферируемых журналов: российских (УФН, ЖЭТФ, письма в ЖЭТФ, Физика твердого тела и др) и англоязычных (Physical Review Letters, Physical Review A, Sensors and Actuators A, B., Optics Express, Оптический журнал.), доступных через Internet.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

Литература для самостоятельного изучения:

1. Шве́ц, В.А.; Спесивцев, Е.В. Эллипсометрия. Учебно-методическое пособие к лабораторным работам. [s. l.], 2013.
2. Tompkins, H.G.; Irene, E. A. Handbook of ellipsometr. [s.l.] : William Andrew, 2005.
3. Эллипсометрия и поляризованный свет. Р. Аззам, Н. Башара ; пер. с англ. под ред. А. В. Ржанова и К. К. Свиташева .— М. : Мир, 1981 .— 583 с.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: И.А. Богинская, канд. техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экспериментальные методы исследований микроструктуры и поверхности твердых тел, молекул, кристаллов» обучающийся должен:

знать:

- современные проблемы физики, химии, материаловедения;
- Физико-химические принципы методов анализа;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- проблематику физико-химического моделирования.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- применять методологию естествознания при организации конкретных исследований;
- моделировать процессы и анализировать модели;
- использовать современные методологии и модели;
- работать с профессиональной информацией.

владеть:

- научным методом, научной картиной мира;
- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории;
- математическими методами моделирования физических задач.

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 или в конце занятия по пройденной теме.

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

Перечень контрольных вопросов

1. Метод валентных связей.
2. Основное уравнение эллипсометрии.
3. Природа сил, отвечающих за магнитное упорядочение
4. Метод молекулярных орбиталей
5. Отличие метода валентных связей от метода молекулярных орбиталей
6. Силы Ван-дер-Ваальса.
7. Кристалл как периодическая структура. Прямая и обратная решетки для гцк и оцк кристаллов. Обратная решетка в случае изменения симметрии прямой решетки (на примере удвоения периода исходной структуры).
8. Электрон в периодической структуре (кристалле). Функции Блоха. Теорема Блоха.
9. Типы твердых тел и зонной структуры. Полупроводники. Электронные и дырочные состояния. Поверхностные состояния.
10. Магнитная восприимчивость разных материалов (без магнитного упорядочения): пара-магнетизм (Ланжевеновский, или закон Кюри), Ван-Флекковский парамагнетизм, парамагнетизм Паули, диамагнетизм.
11. Точечные группы симметрии.
12. Поляризуемость и дипольный момент молекулы.
13. Математические методы анализа поверхностей.
14. Основные виды интерферометров.
15. Принцип работы атомно-силового микроскопа.
16. Уравнение Коши.
17. Уравнение ДрUDE-Лоренца.
18. Учет шероховатости поверхности с помощью уравнения Максвелла -Гарнетта.

Примеры контрольных заданий

1. Чем полупроводники отличаются от сверхпроводников?
2. Основные принципы расшифровки спектров комбинационного рассеяния
3. Эванесцентные волны
4. Двухпроходные методы в атомно-силовой микроскопии
5. Почему Ван-дер-ваальсовское взаимодействие (потенциал) обратно пропорционально R^6 ?

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Отличие метода валентных связей от метода молекулярных орбиталей
2. Силы Ван-дер-Ваальса

Билет 2.

1. Типы твердых тел и зонной структуры. Полупроводники. Электронные и дырочные состояния. Поверхностные состояния.
2. Магнитная восприимчивость разных материалов (без магнитного упорядочения): пара-магнетизм (Ланжевеновский, или закон Кюри), Ван-Флекковский парамагнетизм, парамагнетизм Паули, диамагнетизм.

Билет 3.

2. Основное уравнение эллипсометрии.
3. Природа сил, отвечающих за магнитное упорядочение

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

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

Экзамен проводится в письменной (устной) форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.