

*Приложение к приказу первого проректора
по учебной и научной работе*

от _____ № _____

**Правительство Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный университет**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

(учебной дисциплины, практики и т.п.)

*Электронная и зондовая микроскопия
Electron and probe microscopy*

Язык(и) обучения

_____русский_____

Трудоёмкость (границы трудоёмкости) в зачетных единицах: 2

Регистрационный номер рабочей программы: _____

Санкт-Петербург

2016

Раздел 1. Характеристики учебных занятий

1.1. Цели и задачи учебных занятий

Формирование у студентов представления о современных методах электронной и зондовой микроскопии, а также сопутствующих аналитических методиках и возможности использования методов микроскопии для исследования материалов. Практическое ознакомление с особенностями сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии.

1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

Для успешного освоения программы дисциплины «Электронная и зондовая микроскопия» студентам необходимо прослушать курс лекций «Симметрия, структура и свойства твердых тел – кристаллография и кристаллофизика».

1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)

ОКМ-3 способен к самостоятельному освоению новых методов исследования, к изменению профиля своей профессиональной деятельности;

ОКМ-7 уметь ставить, формализовать и решать задачи, уметь системно анализировать научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новое знание;

ПК-3 уметь ставить задачи теоретических и (или) экспериментальных научных исследований и решать их с помощью соответствующего физико-математического аппарата, современной аппаратуры и информационных технологий;

ПК-6 профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с профилем подготовки;

Знания о принципах и современных методиках сканирующей электронной просвечивающей электронной и сканирующей зондовой микроскопии;

Умение интерпретировать данные полученные методами микроскопии с использованием соответствующего математического аппарата и методов численного моделирования;

Первоначальный навык работы со сканирующим электронным микроскопом и рентгеновским микроанализом;

1.4. Перечень активных и интерактивных форм учебных занятий

- Лекция – изложение материала преподавателем, включающее использование средств мультимедиа (30 часов).
- Практическое занятие в форме самостоятельной работы в присутствии преподавателя (15 часов).

Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий

2.1. Организация учебных занятий

2.1.1 Основной курс

(Пример заполнения таблицы)

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся																		
Период обучения (модуль)	Контактная работа обучающихся с преподавателем												Самостоятельная работа			Объём активных и интерактивных форм учебных занятий	Трудоёмкость	
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	итоговая аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	сам.раб. с использованием методических материалов	текущий контроль (сам.раб.)	промежуточная аттестация (сам.раб.)			итоговая аттестация (сам.раб.)
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																		
очная форма обучения																		
Семестр 2	30		2					2			15			23			49	2
	2-10		2-10					2-10			2-10			2-10			49	2
ИТОГО	30		2					2			15			23			49	2

Формы текущего контроля успеваемости, виды промежуточной и итоговой аттестации			
Период обучения (модуль)	Формы текущего контроля успеваемости	Виды промежуточной аттестации	Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ			
очная форма обучения			
Семестр 2		экзамен	

2.2. Структура и содержание учебных занятий

(Пример заполнения таблицы)

Основной курс Основная траектория Очная форма обучения

Период обучения: Семестр 2

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
-------	------------------------------------	---------------------	------------------

1	<p>Введение. История электронной и зондовой микроскопии. Принципы формирования микроскопического изображения.</p> <p>Понятие изображения. Увеличение. Разрешение. Контраст. Глубина фокуса.</p>	лекции	2
2	<p>1. Общие вопросы электронной микроскопии</p> <p>1.1 Основные элементы устройства электронных микроскопов:</p> <p>Элементы электронной оптики: источник электронов, линзы для электронов, отклоняющие системы, диафрагмы. Аберрации и астигматизм. Детекторы, применяемые в электронной микроскопии. Элементы вакуумной техники.</p>	лекции	2
3	<p>1.2 Основы взаимодействия электронов с веществом:</p> <p>Рассеяние электронов в веществе. Упругое и неупругое отражение электронов. Дифракция электронов. Характеристические потери энергии электронов. Генерация плазмонов. Вторичные электроны. Ожэ-электроны. Характеристическое и тормозное рентгеновское излучение. Катодолюминесценция.</p> <p>Специализированное программное обеспечение для моделирования процессов взаимодействия.</p>	лекции	2
4	<p>1.3 Подготовка материалов для исследования методами электронной микроскопии:</p> <p>Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии. Подготовка поверхности образцов для исследования методами сканирующей электронной микроскопии. Подготовка нанообъектов.</p>	лекции	2
5	<p>2. Сканирующая электронная микроскопия.</p> <p>2.1 Особенности устройства</p>	лекции	2

	сканирующего электронного микроскопа и получения изображения: Общее устройство, геометрия расположения детекторов.		
6	2.2 Формирование контраста вторичных и отраженных электронов в сканирующей электронной микроскопии: Морфологический контраст и материальный контраст. Особенности регистрации электронов различными детекторами.	лекции	2
7	2.3 Рентгеновский микроанализ и дифракция отраженных электронов: Методы качественного и количественного рентгеновского микроанализа. Регистрация дифракции отраженных электронов, анализ дифракционных картин, специализированное программное обеспечение.	лекции	2
8	2.4 Особенности исследования диэлектриков в сканирующем электронном микроскопе: Накопление заряда на поверхности. Методы компенсации заряда.	лекции	2
9	3. Просвечивающая электронная микроскопия 3.1 Особенности работы просвечивающего электронного микроскопа: Общее устройство. Светлопольное и темнопольное изображение, дифракционный режим. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия.	лекции	2
10	3.2 Дифракция электронов в просвечивающей электронной микроскопии: Теория дифракции электронов. Кинематическое приближение. Динамическое приближение. Закон Брэгга. Дифракция в сходящемся	лекции	2

	пучке.		
11	3.3 Типы контраста в просвечивающей электронной микроскопии: Контраст плотности и толщины. Дифракционный контраст. Z-контраст. Контраст дислокаций. Микроскопия высокого разрешения.	лекции	2
12	3.4 Элементный анализ в просвечивающей электронной микроскопии: Рентгеновский микроанализ. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов.	лекции	2
13	4. Сканирующая зондовая микроскопия 4.1 Общие принципы сканирующей зондовой микроскопии. Физические принципы работы сканирующих зондовых микроскопов: Сканирующий туннельный микроскоп. Атомно-силовой микроскоп. Микроскоп ближнего поля. Разрешение СЗМ. Элементы устройства зондовых микроскопов: Устройства сканирования. Зонды для различных зондовых микроскопов и принципы их подготовки.	лекции	2
14	4.2 Сканирующая туннельная микроскопия Теоретические модели процесса туннелирования: Простейшая теория. Туннельный ток. Сканирующая туннельная спектроскопия: Диагностика примесей и адсорбированных атомов.	лекции	2
15	4.3 Атомно-силовая микроскопия Силовое взаимодействие зонда с поверхностью: Вычисление и константы силового	лекции	2

	<p>взаимодействия.</p> <p>Электростатическое и магнитное взаимодействие зонда с поверхностью</p> <p>4.4 Оптическая микроскопия ближнего поля. Манипулирование атомами и нанообъектами с помощью зондовых микроскопов</p>		
16	<p>5. Практическая работа со сканирующим электронным микроскопом.</p> <p>5.1 Получение изображения в сканирующем электронном микроскопе.</p> <p>Определение разрешения в режиме регистрации вторичных и отраженных электронов. Количественный анализ контраста материалов.</p>	<p>Практическое занятие в форме самостоятельной работы в присутствии преподавателя</p>	7
17	<p>5.2 Определение состава материала по данным рентгеновского микроанализа.</p> <p>Регистрация спектрального распределение рентгеновского излучения.</p> <p>Определение элементного состава образца.</p>	<p>Практическое занятие в форме самостоятельной работы в присутствии преподавателя</p>	8

Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

3.1. Методическое обеспечение

3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины студенту предоставляется электронная презентация лекций в формате .pdf, а также описание для самостоятельной работы по разделу 5.

3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы

Для самостоятельной работы студентам предоставляется описание для пользователя сканирующего электронного микроскопа в электронном виде и описание используемых при работе специализированных программ.

3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Промежуточная аттестация проводится в виде устного экзамена, окончательная оценка выставляется по 20-балльной системе по совокупности посещения занятий, результатов лабораторных работ и экзамена.

За посещение лекций назначается не более 2 баллов. За лабораторные работы назначается не более 8 баллов. По результатам устного экзамена назначается не более 10 баллов.

Методика оценки и система соответствия баллов:

	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
20-балльная система	0-4	5-8	9-16	17-20
Болонская система	1-2	3-4	5-7	8-10

«Отлично» - полностью освоена теоретическая часть курса, полностью выполнены лабораторные работы, результаты оценены максимальным числом баллов.

«Хорошо» - теоретическая часть курса освоена полностью либо с несущественными пробелами, лабораторные работы выполнены без существенных ошибок.

«Удовлетворительно» - теоретическая часть курса освоена не полностью, но пробелы в знаниях не сказываются на формировании необходимых навыков, лабораторные работы выполнены, но с ошибками.

«Неудовлетворительно» - теоретическая часть курса не освоена, либо частично освоена, но пробелы в знаниях не позволяют получить необходимые навыки, лабораторные работы не выполнены, либо выполнены с большим числом грубых ошибок.

3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)

Список вопросов для проведения промежуточной аттестации

Билет 1.

1. Принципы формирования изображения в микроскопии. Увеличение. Разрешение. Контраст.
2. Манипулирование атомами и нанобъектами в зондовых микроскопах.

Билет 2.

3. Элементы электронной оптики. Аберрации и астигматизм.
4. Оптическая микроскопия ближнего поля.

Билет 3.

5. Детекторы, применяемые в электронной микроскопии.
6. Силовое взаимодействие зонда атомно-силового микроскопа с поверхностью.

Билет 4.

7. Элементы вакуумной техники, используемые в электронной микроскопии.
8. Электростатическое и магнитное взаимодействие зонда атомно-силового микроскопа с поверхностью.

Билет 5.

9. Упругое и неупругое рассеяние электронов в веществе.
10. Модели процесса туннелирования. Величина туннельного тока.

Билет 6.

11. Вторичные электроны. Оже-электроны. Характеристические потери энергии электронов.
12. Элементы устройства зондовых микроскопов.

Билет 7.

13. Подготовка материалов для исследования методами электронной микроскопии.
14. Типы и принципы работы сканирующих зондовых микроскопов.

Билет 8.

15. Формирование контраста вторичных и отраженных электронов в сканирующей электронной микроскопии.
16. Элементный анализ в просвечивающей электронной микроскопии.

Билет 9.

17. Рентгеновский микроанализ в сканирующей электронной микроскопии.
18. Дифракция электронов в просвечивающей электронной микроскопии.

Билет 10.

19. Дифракция отраженных электронов.
20. Общее устройство просвечивающего электронного микроскопа.

Билет 11.

21. Особенности исследования диэлектриков в сканирующем электронном микроскопе.

22. Принципы формирования изображения в микроскопии. Увеличение. Разрешение. Контраст.

Билет 12.

23. Упругое и неупругое рассеяние электронов в веществе.
24. Типы и принципы работы сканирующих зондовых микроскопов.

3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса

Не предусмотрено

3.2. Кадровое обеспечение

3.2.1 Образование и (или) квалификация преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий

К чтению лекций должны привлекаться преподаватели, имеющие ученую степень и/или ученое звание, а также ведущие специалисты в области микроскопии.

3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Для выполнения самостоятельной работы необходимо привлечение персонала, обслуживающего экспериментальные установки, - специалистов Междисциплинарного ресурсного центра по направлению «Нанотехнологии» Научного парка СПбГУ.

3.3. Материально-техническое обеспечение

3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий

Лекционная аудитория, оборудованная мультимедиа средствами демонстрации материала: проектор и настенный экран.

Лабораторные занятия в помещениях Междисциплинарного ресурсного центра по направлению «Нанотехнологии» Научного парка должны проводиться группами не более 6 человек.

3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования

Для проведения занятия необходимы: проектор, ноутбук, экран.

3.3.3 Характеристики специализированного оборудования

Для проведения лабораторных работ необходимо использовать оборудование Междисциплинарного ресурсного центра по направлению «Нанотехнологии», в частности настольный сканирующий электронный микроскоп Evex Mini-SEM, оборудованный детектором рентгеновского излучения EDAX либо Oxford instruments Inca X-act.

3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

Для проведения лабораторных работ требуется программное обеспечение для управления настольным сканирующим электронным микроскопом EVEX Mini-SEM SX-3000, а также программное обеспечение для работы с данными рентгеновского микроанализа EDAX либо Oxford instruments Inca X-act.

3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов

Фломастеры цветные, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски, флеш-накопители, вакуумная проводящая липкая лента, подложки для сканирующего электронного микроскопа и др. в объёме, необходимом для организации и проведения занятий, по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки.

Для обеспечения проведения лабораторных работ в Междисциплинарном ресурсном центре по направлению «Нанотехнологии» требуется двусторонняя проводящая клейкая лента и перчатки латексные, либо нитриловые в соответствии с числом обучающихся.

3.4. Информационное обеспечение

3.4.1 Список обязательной литературы

1. Практическая электронная растровая микроскопия. Под ред. Дж. Гоулдстейна и Х. Яковица. Москва, «Мир», 1978, 656 с.
2. П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан. Электронная микроскопия тонких кристаллов. Москва, «Мир», 1968, 574 с.
3. Г. Томас. Электронная микроскопия металлов. Прямое исследование металлов в просвечивающем электронном микроскопе : пер. с англ. Москва, Изд-во иностранной лит., 1963, 351 с.
4. Справочник по микроскопии для нанотехнологии под. ред. Н. Яо и Ч. Лин Ван. Москва, «Научный мир», 2011, 712 с.
5. Р. Хейденрайх. Основы просвечивающей электронной микроскопии. Москва, «Мир», 1966, 472 с.
6. П. Хокс. Электронная оптика и электронная микроскопия Москва, Мир, 1974, 319 с.
7. Г. Г. Владимиров. Сканирующая туннельная микроскопия: Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург, СОЛО, 2007, 57 с.
8. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Москва, «Техносфера», 2004, 143 с.
9. Л. Н. Добрецов, М. В. Гомоюнова. Эмиссионная электроника. Москва, Наука. 1966, 564 с.

3.4.2 Список дополнительной литературы

1. J. Goldstein, D. Newbury, D. Joy, C. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer and J. Michael. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Third edition. Springer, 2007, 690 p.
2. Р. Ф. Эгертон, Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию. Москва, «Техносфера», 2010, 300 с.
3. Электронно-микроскопические изображения дислокаций и дефектов упаковки под. ред. В.М. Косевича и Л.С. Палатника. Москва, «Наука», 1976, 223 с.
4. David B. Williams, C. Barry Carter. Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science. Springer, 2009, 757p
5. E. L. Wolf. Principles of electron tunneling spectroscopy. 2nd edition. Oxford university press, 2012, 593 p.
- 6.

3.4.3 Перечень иных информационных источников

Методическое пособие и инструкция по эксплуатации сканирующего электронного микроскопа EVEX для пользователей Междисциплинарного ресурсного центра по направлению «Нанотехнологии» <http://www.nano.spbu.ru/>

Раздел 4. Разработчики программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация (служебный адрес электронной почты, служебный телефон)
Петров Юрий Владимирович	к.ф.м.н.	-	доцент	y.petrov@spbu.ru +7-905-260-25-25