###### Санкт-Петербургский политехнический университет петра великого

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | УТВЕРЖДАЮДиректор *институт-разработчик*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.А. Попович"\_\_\_\_" \_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. |

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Методы анализа наноматериалов в микро- и наномасштабе**

|  |  |
| --- | --- |
| Кафедра-разработчик  | Физико-химии и технологии микросистемной техники |
| Направление (специальность) подготовки |
| 28.06.01 Нанотехнологии и наноматериалы*Код и наименование*  |
| Наименование ООП |
| 28.06.01\_01 Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям)*Код и наименование*  |
|  |
| Квалификация (степень) выпускника  | исследователь, преподаватель-исследователь |
| Образовательный стандарт | ФГОС |
| Форма обучения | очная |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | Соответствует ФГОС ВОУтвержденапротоколом заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_\_\_ |

Программу разработал:

зав.каф.ФХиТМТ, проф., д.х.н. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Александров С.Е.

**1.** **Цели, задачи и результаты изучения дисциплины**

**Цель –** формирование знаний в области физико-химических дисциплин, включая знания, умения, навыки и социально-личностные качества, обеспечивающие успешность научно-педагогической деятельности.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

1. Изучение основных физических принципов реализации спектроскопических методов анализа наноматериалов.

2. Формирование умений в области применения и выбора наилучшего метода исследования и анализа свойств наноматериалов.

3. Владение основными методами анализа на уровне, позволяющем корректно планировать, применять методы «in situ» диагностики при изучении основных физико-химических свойств наноматериалов.

4. Получение практических навыков осуществления анализа свойств поверхностных слоев наноматериалов методами электронной спектроскопии и обработки полученных материалов.

**Результаты обучения (компетенции) выпускника ООП**, на формирование которых ориентировано изучение дисциплины «Методы анализа наноматериалов в микро- и наномасштабе» (в соответствии с ФГОС ВО)

|  |  |
| --- | --- |
| **Код** | **Результат обучения (компетенция) выпускника ООП** |
| ОПК-2 | владеть культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий |
| ОПК-3 | способность к разработке и использованию современных методов научного исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности |
| ПК-5 | способность применять на практике навыки комплектного подхода к исследованию наноматерипалов и нанотехнологий |
| ПК-8 | способность самостоятельно использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологических процессов, структуры и свойств наноматериалов и наносистем, изделий на их основе  |
| ПК-11 | способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в области наноиндустрии |

**Планируемые результаты изучения дисциплины**, обеспечивающие достижениецели изучения дисциплины «Методы анализа наноматериалов в микро- и наномасштабе» и её вклад в формирование результатов обучения (компетенций) выпускника ООП (при разработке раздела использован раздел 6 ФГОС ВО):

**знание**

* основ физических принципов методов анализа свойств наноматериалов методами электронной спектроскопии;
* основных достоинств и недостатков методов и условий получения корректной информации;
* основных приемов обработки экспериментальных спектров;

**умение**

* применять методы электронной спектроскопии для исследования физико-химических свойств поверхности;
* корректно проводить пробоподготовку для получения неискаженной информации о свойствах исследуемых объектов;
* планировать проведение комплексных исследований различными методами с целью изучения атомного, электронного и кристаллического строения наноматериалов;

**владение**

* методами обработки и анализа экспериментальных спектров для наиболее полного выявления содержащейся в них информации.

**2.** М**есто дисциплины в структуре ООП**

Дисциплину «Методы анализа наноматериалов в микро- и наномасштабе» аспиранты изучают на 2 году обучения в течение одного семестра.

Изучение дисциплины опирается на знания в области физической химии, физической электроники и электронных приборов, вакуумной и криогенной техники, освоенные на предшествующих этапах обучения.

Результаты изучения дисциплины используются при изучении следующих дисциплин: методы исследования наноструктур, методы получения наноматериалов.

Кроме того, результаты изучения дисциплины используются при подготовке выпускной квалификационной работы.

**3. Распределение трудоёмкости освоения дисциплины по видам учебной работы и формы текущего контроля и промежуточной аттестации**

**3.1. Виды учебной работы**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виды учебной работы | Трудоёмкость по семестрам, ач | Итого, ач |
| 4-й сем |  |
| Лекции (Л) |  |  |
| Лабораторные занятия (ЛЗ) |  |  |
| Практические занятия, семинары (ПЗ) |  |  |
| Контроль самостоятельной работы аспирантов (КСР) | 6 | 6 |
| Самостоятельная работа аспирантов[[1]](#footnote-1) (СРА) | 66 | 66 |
| в том числе творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа[[2]](#footnote-2) (ТСРА) |  |  |
| Зачеты (З) (подготовка, сдача) |  |  |
| Общая трудоемкость освоения дисциплины[[3]](#footnote-3) | в академических часах, ач | 72 |
| в зачётных единицах, зет | 2 |

**3.2. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Формы текущего контроля и промежуточной аттестации | Количество по семестрам | Итого |
| 4-й сем. |
| **Текущий контроль** |
| Контрольные работы (КРб), шт. |  |  |
| Коллоквиумы (Кк), шт. |  |  |
| Расчетно-графические работы (РГР), шт. |  |  |
| Рефераты (Реф), шт. |  |  |
| Курсовые проекты (КП), шт. |  |  |
| Курсовые работы (КР), шт. |  |  |
| **Промежуточная аттестация** |
| Зачеты, (З), шт. | 1 | 1 |
| Экзамены, (Э), шт. |  |  |

**4. Содержание и результаты обучения**

Вклад дисциплины в формирование результатов обучения выпускника (компетенций) и достижение обобщённых результатов обучения (описаны в разделе 1) происходит путём освоения содержания обучения и достижения частных результатов обучения, описанных в данном разделе.

**4.1.** **Разделы дисциплины и виды учебной работы**

|  | **Разделы дисциплины,мероприятия текущего контроля**[[4]](#footnote-4) | **КСР,ач** | **СРА,ач** |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. | 1. Методы фотоэлектронной спектроскопии. |
|  | 1.1. Физические процессы при взаимодействии излучения с веществом в различном диапазоне длин волн.  | 0 | 6 |
|  | 1.2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.  | 1 | 7 |
|  | 1.3. Оптический диапазон, использование синхротронного излучения. Спектроскопические обозначения. Спектры энергетической структуры, атомный и химический анализ состояния атомов на поверхности. | 1 | 9 |
| 2. | 2. Оже-спектроскопия. |
|  | Физические основы. Особенности реализации метода для разных первичных источников излучения. Обозначения линий спектров. Информация, получаемая с помощью Оже-спектров. Особенности подготовки образцов. | 2 | 9 |
| 3. | 3.Квадрупольная масс-спектроскопия для анализа состава газов, жидкостей и твердого тела. |
|  | Принцип разделения ионов по массе в квадрупольном мас-спектрометре. Квадрупольная масс-спектроскопия при нагреве образцов, в молекулярных пучках, остаточной атмосферы и разреженный газ. | 1 | 8 |
| 4. | 4. Спектроскопия рассеяния ионов и ионное распыление поверхности. |
|  | 4.1. Закономерности рассеяния ионов при различных энергиях и углах падения. Определение состава поверхности по спектрам рассеяния ионов. Закономерности распыления многокомпонентных поверхностей.  | 0 | 9 |
|  | 4.2. Зависимость коэффициентов распыления и сечения взаимодействия от различных факторов. Получение профилей концентрации при ионном распылении поверхности. | 1 | 9 |
|  | Подготовка к зачету, зачет | 0 | 10 |
|  | **Итого по видам учебной работы:** | 6 | 66 |
|  | **Общая трудоёмкость освоения: ач / зет** | 72 / 2 |

**4.2. Содержание разделов и результаты изучения дисциплины**

| **Разделы дисциплины и их содержание** | **Результаты обучения[[5]](#footnote-5)** |
| --- | --- |
| 1. Методы фотоэлектронной спектроскопии. |
| 1.1. Физические процессы при взаимодействии излучения с веществом в различном диапазоне длин волн.  | Знание, умение применять знания на практике: кинематическая теория рассеяния, основные положения кинематической теории рассеяния и область ее применения, вектор и угол рассеяния, выражения для амплитуды рассеяния волн в кинематическом приближении. Знание механизмов и особенностей рассеяния на объектах с периодической структурой (обратная решетка, связь между прямой и обратной решетками, уравнение дифракции Лауэ, формула Вульфа-Брегга, построение Эвальда, фактор формы и рассеяние кристаллами конечных размеров, угловая ширина дифракционного максимума в кинематическом приближении, рассеяние поликристаллами, аморфными телами). Знание на уровне понятий, определений, характеристик: элементы динамической теории рассеяния, рассеяние идеальными кристаллами, волновое поле в кристалле, экстинкция, двухволновое приближение, отражение по схеме Брегга, область полного интерференционно­го отражения, интегральный коэффициент отражения в динамическом приближении.  |
| 1.2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.  | Знание методов возбуждения рентгеновских спектров. Понимание теоретических аспектов вопроса: сплошной и характеристический рентгеновский спектр, работа рентгеновской трубки, синхротронное излучение, явления, сопровождающие прохождение рентгеновских лучей через вещество, закон поглощения рентгеновских лучей, рентгеновская дефектоскопия, фильтрация рентгеновского излучения, преломление рентгеновских лучей. Знание теории флюоресцентного излучения. Понимание механизмов работы, основных характеристик, влияющих на качество анализа, и устройства спектрометров рентгеновского излучения с волновой и энергетической дисперсией. Знание основ микрорентгеноспектрального анализа, схемы прибора, особенностей применения, понимание аналитических возможностей метода. |
| 1.3. Оптический диапазон, использование синхротронного излучения. Спектроскопические обозначения. Спектры энергетической структуры, атомный и химический анализ состояния атомов на поверхности. | Теоретические основы колебательных состояний двухатомных и многоатомных молекул, колебательных спектров молекул. Знание основных характеристик, понятий, определений, владение на теоретическими основами вопросов: правила отбора, основные параметры колебательного спектра, ширина спектральных линий, идентификация веществ, количественный анализ. |
| 2. Оже-спектроскопия. |
| Физические основы. Особенности реализации метода для разных первичных источников излучения. Обозначения линий спектров. Информация, получаемая с помощью Оже-спектров. Особенности подготовки образцов. | Понимание сущность методов электронной спектроскопии, характеристики и особенности Оже- электронных и рентгеновских фотоэлектронных спектров. Владение теорией по вопросам и элементарными практическими умениями: Информационная глубина. Схема спектрометров, типы приборов. Эле­ментная чувствительность. Подготовка образцов. Изучение профилей распределения кон­центрации по глубине. Качественный и количественный Оже- и ЭСХА- анализ. Характеристика применений. |
| 3.Квадрупольная масс-спектроскопия для анализа состава газов, жидкостей и твердого тела. |
| Принцип разделения ионов по масее в квадрупольном мас-спектрометре. Квадрупольная масс-спектроскопия при нагреве образцов, в молекулярных пучках, остаточной атмосферы и разреженный газ. | Знание физических основ метода МС и формирования сигнала. Аппаратура метода и его аналитические характеристики. Знание отличий и особенностей статического и динамического режимов работы. Знание последовательности и особенностей под­готовки образцов. Понимание основ анализа распределений концентрации по глубине, количественного анализа МС и областей применимости метода. |
| 4. Спектроскопия рассеяния ионов и ионное распыление поверхности. |
| 4.1. Закономерности рассеяния ионов при различных энергиях и углах падения. Определение состава поверхности по спектрам рассеяния ионов. Закономерности распыления многокомпонентных поверхностей.  | Знание на уровне характеристики, понятий, основных определений: элементы теории транспортировки, формирования и разделения ионных пучков; источники ионов масс-спектрометров; элементы теории транспортировки пучков; методы разделения и регистрации ионов; масс-спектрометрия высокого разрешения. Опыт интерпретации масс-спектров, полученных с использованием разных методов ионизации.  |
| 4.2. Зависимость коэффициентов распыления и сечения взаимодействия от различных факторов. Получение профилей концентрации при ионном распылении поверхности. | Знание на уровне характеристики, понятий, основных определений: коэффициент распыления, сечение распыления, влияние условий измерения на результат, зависимость рассеяния от материала образца, зависимость рассеяния от прочих факторов, методы послойного распыления, профили концентрации. |

**5. Образовательные технологии**

В преподавании курса используются преимущественно традиционные образовательные технологии, имеющие практическую направленность; лекционные и семинарские занятия не предусмотрены. Объем самостоятельной работы аспирантов составляет более 85% общего объема занятий, остальная доля приходится на контроль самостоятельной работы.

**6. Лабораторный практикум**

Не предусмотрен

**7. Практические занятия**

Не предусмотрены

**8. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов**

Примерное распределение времени самостоятельной работы аспирантов

| **Вид самостоятельной работы** | **Примернаятрудоёмкость,ач** |
| --- | --- |
| **Текущая СРА** |
| работа с лекционным материалом, с учебной литературой |  |
| опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях) |  |
| самостоятельное изучение разделов дисциплины | 51 |
| выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ |  |
| подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям | 5 |
| подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам  | 10 |
| подготовка к экзаменам |  |
| другие виды СРА (указать конкретно) |  |
| **Итого текущей СРА:** | **66** |
| **Творческая проблемно-ориентированная СРА** |
| выполнение расчётно-графических работ |  |
| выполнение курсового проекта или курсовой работы  |  |
| поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме |  |
| работа над междисциплинарным проектом |  |
| исследовательская работа, участие в конференциях, семинарах, олимпиадах |  |
| анализ данных по заданной теме, выполнение расчётов, составление схем и моделей на основе собранных данных |  |
| другие виды ТСРА (указать конкретно) |  |
| **Итого творческой СРА:** | **0** |
| **Итого СРА:** | **66** |

Методы контроля СРА: самоконтроль, контроль преподавателя.

**9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

**9.1. Адрес сайта курса**

**9.2. Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

| № | Автор, название, место издания,издательство, год (годы) издания | Год изд. | К-во экз.[[6]](#footnote-6) | Место хранения |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Шахмин, Александр Львович. Методы и приборы для анализа наноструктур и наноматериалов. На примере установки Нанофаб 25 : учебное пособие / А. Л. Шахмин ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2011 .— 102 с. : ил., табл. ; 20 см .— В надзаг. также: Приоритетный национальный проект "Образование". Национальный исследовательский университет. — Библиогр.: с. 102. — ISBN 978-5-7422-3261-2. | 2011 | 2, 32 | ОНЛ, ОУЛ |
| 2 | Рамбиди, Николай Георгиевич. Структура и свойства наноразмерных образований : Реалии сегодняшней нанотехнологии / Н. Г. Рамбиди .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 375 с. : ил. ; 25 см .— Библиогр.: с. 357-362, 375. — ISBN 978-5-91559-089-1. | 2011 | 2 | ФБ |

**9.3. Технические средства обеспечения дисциплины**

**10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

**11. Критерии оценивания и оценочные средства**

**11.1. Критерии оценивания**

«*Зачтено*» - выставляется тогда, когда аспирант:

* грамотно владеет терминологией;
* демонстрирует знания по теме;
* владеет выразительной, грамотной речью;
* наглядные средства использует грамотно;
* отвечает на вопросы аргументировано.

«*Не зачтено*» - выставляется тогда, когда аспирант:

* сущность проблем вопроса не раскрывает;
* не владеет терминологией;
* демонстрирует отсутствие знаний по теме курса;
* не владеет научным стилем речи;
* не умеет использовать наглядные средства;
* отвечает на вопросы не убедительно.

**11.2. Оценочные средства**

Некоторые примерные вопросы на зачете:

1. Физические процессы, происходящие при взаимодействии излучения с веществом в различном диапазоне длин волн.
2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия
3. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия
4. Оптический диапазон, использование синхротронного излучения.
5. Спектроскопические обозначения.
6. Спектры энергетической структуры, атомный и химический анализ состояния атомов на поверхности.
7. Физические основы Оже процессов.
8. Особенности реализации Оже-метода для разных первичных источников излучения.
9. Информация получаемая с помощью Оже-спектров, обозначения линий спектров. Особенности подготовки образцов.

**12. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

При проведении практических работ в качестве экспериментальных образцов рекомендуется использовать образцы, получаемые аспирантами в ходе их научно-практической деятельности таким образом, чтобы изучаемый материал и материалы практических занятий могли быть дополнительным источником научной информации при выполнении аспирантом научной работы.

1. Подробное описание в разделе 8. [↑](#footnote-ref-1)
2. Подробное описание в разделе 8. [↑](#footnote-ref-2)
3. Общую трудоемкость освоения дисциплины определяют с учетом всех видов учебной работы (аудиторной и самостоятельной). [↑](#footnote-ref-3)
4. Только контрольные работы и коллоквиумы трудоёмкостью не менее 1 ач, которые проводятся во время плановых аудиторных занятий. [↑](#footnote-ref-4)
5. Графы «Результаты обучения» заполнены как пример. Возможно заполнение в терминах «знания, умения и навыки, опыт» и т.п. [↑](#footnote-ref-5)
6. Общее количество аспирантов, одновременно изучающих дисциплину. [↑](#footnote-ref-6)