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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Физические основы вторично-электронных методов диагностики наноматериалов**

|  |  |
| --- | --- |
| 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. Углубление знаний о физических процессах лежащих в основе современных, широко используемых, аналитических методов.

2. Формирование умений выбора оптимального комплекса методов анализа, позволяющих получать всеобъемлющую информацию о физико-химическом строении наноматериалов.

3. Получение информации о современном состоянии парка аналитических приборов в России и мире.

**Результаты обучения (компетенции) выпускника ООП**, на формирование которых ориентировано изучение дисциплины «Математика» (в соответствии с ФГОС ВО)

|  |  |
| --- | --- |
| **Код** | **Результат обучения (компетенция) выпускника ООП** |
| 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 |
| УК-6 | способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития |

**Планируемые результаты изучения дисциплины**, обеспечивающие достижениецели изучения дисциплины «Физические основы вторично-электронных методов диагностики наноматериалов» и её вклад в формирование результатов обучения (компетенций) выпускника ООП (при разработке раздела использован раздел 6 ФГОС ВО):

**знание**

* физических моделей, описывающих вторично-электронные процессы;
* основных физических принципов, лежащих в основе современных аналитических методов;

**умение**

* выбирать метод анализа, позволяющий получить максимум информации о физико-химических свойствах конкретного образца широкого класса наноматериалов;

**владение**

* навыками поиска и выбора необходимого, для выполнения исследовательских задач, оборудования выпускаемого российскими и мировыми производителями.

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

Дисциплину «Физические основы вторично-электронных методов диагностики наноматериалов» аспиранты изучают на первом году обучения во втором семестре.

Изучение дисциплины опирается на знания в области физико-химии поверхности и границ раздела фаз, современных методов научных исследований, современные методов исследования состава, строения и свойств материалов, освоенные на предшествующих этапах обучения.

Результаты изучения дисциплины используются при изучении следующих дисциплин:

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 |
| 2-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 |
| 2-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. Вторично-электронная спектроскопия с угловым разрешением. |
|  | 1.1. Основные принципы метода.  | 0 | 4 |
|  | 1.2. Формирование спектра «медленных» вторичных электронов. | 0 | 4 |
|  | 1.3. Анализ поверхности монокристаллов методом ВЭСУР | 2 | 6 |
| 2. | 2. Низкоэнергетическая вторично-электронная спектроскопия. |
|  | 2.1. Методы низкоэнергетической вторично-электронной спектроскопии. Способы записи зависимостей σ(E), R(E), dσ/dE=f(E), dR/dE=F(E).  | 0 | 5 |
|  | 2.2. Формирование физических представлений о природе структуры зависимостей σ(E), R(E). Упругое отражение электронов вблизи пороговых энергий элементарных возбуждений электронов твердого тела. Дифракционные эффекты.  | 1 | 4 |
|  | 2.3. Определение структуры плотности свободных состояний зоны проводимости с помощью низкоэнергетической спектроскопии истинно вторичных электронов. | 1 | 4 |
| 3. | 3. Спектроскопия спин-поляризованных электронов. |
|  | 3.1. Краткие сведения о спине электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Обменное взаимодействие. Источники поляризованных электронов.  | 0 | 10 |
|  | 3.2. Анализаторы спиновой поляризации.  | 1 | 11 |
|  | 3.3. Поляризационная спектроскопия вторичных электронов. | 1 | 5 |
| 4. | 4. Производители аналитических приборов. |
|  | Крупнейшие российские и мировые производители аналитических приборов. Типичные и лучшие параметры серийно выпускаемых, аналитических приборов. | 0 | 3 |
|  | 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. Вторично-электронная спектроскопия с угловым разрешением. |
| 1.1. Основные принципы метода.  | Знание трех этапов рассмотрения механизма ВЭЭ (рассеяние первичных и отраженных электронов, транспорт вторичных электронов к поверхности. выход электронов в вакуум), механизмов рассеяния, общего вида и особенностей спектра ВЭ, поверхностной чувствительности метода. Знание основных характеристик метода, понимание существенности изменения их в том или ином случае. |
| 1.2. Формирование спектра «медленных» вторичных электронов. | Знание энергетических характеристик «медленных» ВЭ, возможностей метода при использовании «медленных» ВЭ, особенностей и характерных черт спектра, работа со спектром и нюансы его обработки. |
| 1.3. Анализ поверхности монокристаллов методом ВЭСУР | Знание на уровне характеристики схемы, устройства, принципа работы магнитного, задерживающего поля и полусферического анализаторов, понимание особенностей и уместности применения каждого из них в отдельном случае, преимущества и недостатки их на примере анализа той или поверхности. Знание на уровне описания схемы установки для исследования малоуглового рассеяния медленных электронов с монохроматизацией первичного пучка |
| 2. Низкоэнергетическая вторично-электронная спектроскопия. |
| 2.1. Методы низкоэнергетической вторично-электронной спектроскопии. Способы записи зависимостей σ(E), R(E), dσ/dE=f(E), dR/dE=F(E).  | Знание на уровне понятий, характеристик, особенностей методов низкоэнергетической вторично-электронной спектроскопии, способов записи зависимостей σ(E), R(E), dσ/dE=f(E), dR/dE=F(E). |
| 2.2. Формирование физических представлений о природе структуры зависимостей σ(E), R(E). Упругое отражение электронов вблизи пороговых энергий элементарных возбуждений электронов твердого тела. Дифракционные эффекты.  | Понимание механизмов формирования физических представлений о природе структуры зависимостей σ(E), R(E), упругого отражения электронов вблизи пороговых энергий элементарных возбуждений электронов твердого тела, сопровождаемых дифракционными и иными эффектами. |
| 2.3. Определение структуры плотности свободных состояний зоны проводимости с помощью низкоэнергетической спектроскопии истинно вторичных электронов. | Знание последовательности и методики определения структуры плотности свободных состояний зоны проводимости с помощью низкоэнергетической спектроскопии истинно вторичных электронов. Знание на уровне характеристики общей схемы низкоэнергетической спектроскопии на одноэлектронное возбуждение, оценки ширины запрещенной зоны, сопоставления спектра потерь со спектром валентной зоны, типичные энергии. |
| 3. Спектроскопия спин-поляризованных электронов. |
| 3.1. Краткие сведения о спине электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Обменное взаимодействие. Источники поляризованных электронов.  | Понимание спин-орбитального взаимодействия при рассеянии электронов твердым телом. Амплитуды рассеяния для электронов со спином, ориентированным параллельно и антипараллельно нормали к плоскости рассеяния, выражения для интенсивности рассеяния, спиновой поляризации. Знание сути кинематического приближения и его необходимости для отражения взаиморасположения атомов в решетке, абстрагирования степени поляризации от геометрии кристалла |
| 3.2. Анализаторы спиновой поляризации.  | Понимание методов анализа, особенностей работы, общего устройства и эффективности моттовского, атомного, дифракционного и поглощательного анализаторов. Знание подробной схемы моттовского анализатора, особенностей его работы. Знание достоинств и недостатков анализаторов различных типов  |
| 3.3. Поляризационная спектроскопия вторичных электронов. | Понимание необходимости и результатов осуществления обращения поляризации. Знание особенностей поляризационной спектроскопии и спектров вторичных электронов. |
| 4. Производители аналитических приборов. |
| Крупнейшие российские и мировые производители аналитических приборов. Типичные и лучшие параметры серийно выпускаемых, аналитических приборов. | Знание крупнейших российских и мировых производителей аналитических приборов, краткой истории их развития, типичных и лучших параметров серийно выпускаемых, аналитических приборов. |

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 | 56 |
| выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ |  |
| подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям |  |
| 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 (реферат) |  |
| **Итого творческой СРА:** |  |
| **Итого СРА:** |  |

Методы контроля СРА: самоконтроль, контроль преподавателя.

**9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

**9.1. Адрес сайта курса**

*Интернет-адрес сайта (по требованиям ФГОС ВО п.7.2*[[6]](#footnote-6) *содержание каждой учебной дисциплины должно быть представлено в сети Интернет или в локальной сети учебного заведения).*

**Примеры.**

 [http://dl.eei.spbstu.ru/](http://moodle.spbstu.ru) (вход для зарегистрированных пользователей) -> ИМОП –> Кафедра «Управление международным сотрудничеством» –> курс «Документационное обеспечение управления с международным делопроизводством» (вход по кодовому слову, получаемому у преподавателя).

.

**9.2. Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

| № | Автор, название, место издания,издательство, год (годы) издания | Год изд. | К-во экз.[[7]](#footnote-7) | Место хранения |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. | Томашпольский Ю. Я. Аналитическая вторично-электронная эмиссиометрия.- М.: Науч. мир, 2006.- 111 с.  | 2006 | 2 | ОНЛ |
| 2. | Оура К. Введение в физику поверхности.-М.: Издат.:  Наука. 2006. – 490 с. | 2006 | 2 | ОНЛ |

**Дополнительная литература:**

1. Мамонова, Марина Владимировна. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы / М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова .— М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011 .— 400 с.

**9.3. Технические средства обеспечения дисциплины**

**10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Компьютеры кафедры ФХиТМТ с выходом в глобальную сеть INTERNET

**11. Критерии оценивания и оценочные средства**

Реферат по теме, согласованной с преподавателем и научным руководителем аспиранта, включающий в себя анализ научной и патентной литературы, определение наиболее перспективных технологий по заданному направлению и предложения по возможным направлениям дальнейших исследований.

**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**

Перечень некоторых вопросов на зачете:

1. Основные принципы вторично-электронной спектроскопии с угловым разрешением.
2. Формирование спектра «медленных» вторичных электронов.
3. Анализ поверхности монокристаллов методом ВЭСУР
4. Методы низкоэнергетической вторично-электронной спектроскопии.
5. Способы записи зависимостей σ(E), R(E), dσ/dE=f(E), dR/dE=F(E).
6. Упругое отражение электронов вблизи пороговых энергий элементарных возбуждений электронов твердого тела.
7. Определение структуры плотности свободных состояний зоны проводимости с помощью низкоэнергетической спектроскопии истинно вторичных электронов.
8. Спектроскопия спин-поляризованных электронов.
9. Анализаторы спиновой поляризации. Поляризационная спектроскопия вторичных электронов.

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

В основе изучения дисциплины «Физические основы вторично-электронных методов диагностики наноматериалов» применительно к аспирантам лежит физическая интерпретация процессов, протекающих при получении наноматериалов и их исследовании. Физико-химические основы процессов даются в лекционном материале, их более глубокое изучение проходит в ходе выполнения и обсуждения самостоятельно выполняемых аспирантами работ. В ходе выполнения самостоятельных исследований и написания реферата аспиранты должны приобрести навыки нахождения научных решений, необходимых для разработки и реализации технологических процессов.

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. Пункт, в котором описаны требования к методическому обеспечению ООП.. [↑](#footnote-ref-6)
7. Общее количество аспирантов, одновременно изучающих дисциплину. [↑](#footnote-ref-7)