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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Физико-химические основы процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 ВО  Утверждена  протоколом заседания кафедры  № \_\_\_\_ от \_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_\_\_ |

Программу разработали:

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 физико-химических закономерностей процессов химического осаждения из газовой фазы.

2. Формирование умений в области применения методов исследования и анализа процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы.

3. Владение основными методами на уровне, позволяющем корректно применять метолы «in situ» диагностики при изучении основных физико-химических закономерностей процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы.

4. Получение практических навыков осуществления процессов химического осаждения из газовой фазы.

**Результаты обучения (компетенции) выпускника ООП**, на формирование которых ориентировано изучение дисциплины «Физико-химические основы процессов химического осаждения из газовой фазы» (в соответствии с ФГОС ВО)

|  |  |
| --- | --- |
| **Код** | **Результат обучения (компетенция) выпускника ООП** |
| ПК-11 | способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в области наноиндустрии |
| ПК-12 | способность использовать технологические процессы и операции с учетом их назначения и способов реализации, нормативные и методические материалы по технологической подготовке производства, качеству, стандартизации процессов |
| УК-1 | способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях |

В результате изучения курса «Физико-химические основы процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы» аспирант должен:

**знать**

* основы процессов химического осаждения из газовой фазы;
* основные принципы экспериментального определения физико-химических закономерностей процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы;
* основные экспериментальные методы «in situ» диагностики процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы;

**уметь**

* применять экспериментальные методы исследования кинетических закономерностей процессов химического осаждения из газовой фазы;
* корректно применять методы «in situ» диагностики процессов химического осаждения из газовой фазы;
* разрабатывать и конструировать газораспределительные системы и реакторы, используемые для осуществления процессов химического осаждения из газовой фазы;

**владеть**

* навыками выявления типа лимитирующей стадии процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы.

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

Дисциплину «Физико-химические основы процессов химического осаждения наноматериалов из газовой фазы» аспиранты изучают на 3 курсе во втором семестре.

Изучение дисциплины опирается на знания в области физической химии, физико-химии поверхности и границ раздела фаз, освоенные аспирантами на предшествующих этапах обучения.

Результаты изучения дисциплины используются при изучении следующих дисциплин: методы осаждения тонких слоев, полупроводниковые материалы в электронной технике, методы плазмохимического получения полупроводниковых материалов и приборов электронной техники.

Кроме того, результаты изучения дисциплины используются в ходе практических решений задач и 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 |
| 6-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 |
| 6-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. Сущность CVD процессов. | | |
|  | 1.1. Основные понятия и терминология. | 0 | 1 |
|  | 1.2. Многостадийность процессов химического осаждения из газовой фазы. | 0 | 3 |
| 2. | 2. Техника процессов химического осаждения из газовой фазы. | | |
|  | 2.1. Газораспределительные системы. | 0 | 5 |
|  | 2.2. Типы CVD реакторов. | 0 | 6 |
|  | 2.3. Системы удаления побочных продуктов. | 1 | 4 |
| 3. | 3. Исследование физико-химических закономерностей CVD процессов. | | |
|  | 3.1. Общие требования к эксперименту. | 1 | 3 |
|  | 3.2. Параметры эксперимента: температура осаждения, скорость газового потока, положение подложки относительно потока, роль кристаллографической ориентации подложки, парциальные давления реагирующих веществ, площадь поверхности подложки. | 1 | 8 |
| 4. | 4. Выявление закономерностей процессов химического осаждения из газовой фазы с привлечением инструментальных методов исследования технологической среды. | | |
|  | 4.1. Исследование структуры газовых потоков в реакторах (метод трассирования, оптические методы). | 0 | 6 |
|  | 4.2. Измерение температуры газа (измерение температуры газа с помощью термопар, спектроскопия комбинационного рассеивания, интерференционная голография). | 1 | 6 |
|  | 4.3. Определение состава реакционной газовой фазы в зоне осаждения (масс-спектрометрия, газовая хроматография, оптические методы). | 1 | 6 |
| 5. | 5. Химическое осаждение наноматериалов из газовой фазы | | |
|  | 5.1. Синтез наночастиц. Принципы формирования гетероструктур. | 0 | 1 |
|  | 5.2. Основы получения нанотрубок, наностержней и нановолокон. | 0 | 2 |
|  | 5.3. Синтез пористых материалов.Формирование тонких пленок внутри нанопористой структуры подложки. | 0 | 2 |
|  | 5.4. Основы получения нанокомпозиционных материалов. | 1 | 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. Сущность CVD процессов | Знание основных физико-химических характеристик гомогенных и гетерогенных процессов, основных физико-химических параметров, определяющих ход химических превращений. Представления о механизмах нуклеации и агломерации. Знание на уровне терминов, понятий и характеристики методов вакуумной конденсации, метода химического осаждения из газовой фазы (CVD), пиролиза аэрозолей органических и неорганических прекурсоров. |
| 1. Техника процессов химического осаждения из газовой фазы | Знание теоретических основ и умения в области физических и химических методов формирования наночастиц. Представления о механизмах нуклеации и агломерация, методах вакуумной конденсации, методе химического осаждения из газовой фазы (CVD), пиролизе аэрозолей органических и неорганических прекурсоров. |
| 1. Исследование физико-химических закономерностей CVD процессов | Понимание и знание основ термодинамики поверхностных явлений. Знание на уровне определений, понятий, характеристики: избыточные термодинамические функции, поверхностное натяжение и объемные свойства веществ, термодинамическое уравнение Гиббса для поверхности раздела фаз, поверхностная энергия твердых тел. Знание механизмов и путей зависимости, влияния морфологии, рельефа и адсорбции молекул на поверхностную энергию. Состав поверхности, сегрегация компонентов в приповерхностных слоях. Неустойчивость дисперсных систем. Образование кластеров. Агрегация наночастиц. |
| 1. Выявление закономерностей процессов химического осаждения из газовой фазы с привлечением инструментальных методов исследования технологической среды | Знание основных методов анализа наноразмерных материалов, их локальности и глубины исследования. Знание особенностей анализа высокодисперсных систем, определения среднего размера частиц. Владение теоретическими основами и возможностями метода рентгеновской дифракции. Определение вклада поверхности и объема. Анализ состава и структуры отдельной наночастицы; электронная микроскопия высокого разрешения, дифракция электронов. Владение теорией и основными умениями в области спектральных методов исследования, методов с использованием синхротронного излучения, спектроскопии электронов, Оже- электронной и рентгеновской фото- электронная спектроскопии. Знание физико-химических основ ведения количественного анализа состава поверхности и тонких пленок. Понимание теоретических аспектов и умение оценивать возможности туннельной и атомно-силовой микроскопии на практике. |
| 1. Химическое осаждение наноматериалов из газовой фазы | Знание описаний и особенностей различных методик синтеза наночастиц, физико-химических процессов регулирования формирования гетероструктур, основ получения наноструктур с ярко выраженным одним направлением (нанотрубки, наностержни, нановолокна), синтеза пористых материалов и нанокомпозитов. |

**5. Образовательные технологии**

В преподавании курса используются преимущественно традиционные образовательные технологии, имеющие практическую направленность. Объем самостоятельной работы аспирантов составляет более 85% общего объема занятий, остальная доля приходится на контроль самостоятельной работы. Вместе с тем, аспиранты самостоятельно выполняют практические задания с использованием функционирующего в режиме удаленного доступа интерактивного учебно-научного комплекса для выполнения работ по моделированию процессов газофазного синтеза наноразмерных структур и наноматериалов в проблемно-ориентированной среде высокопроизводительных вычислений.

**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** | **Примерная трудоёмкость, ач** |
| --- | --- |
| **Текущая СРА** | |
| работа с лекционным материалом, с учебной литературой | 10 |
| опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях) |  |
| самостоятельное изучение разделов дисциплины | 46 |
| 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 (указать конкретно) |  |
| **Итого творческой СРА:** | **0** |
| **Итого СРА:** | **66** |

Методы контроля СРА: самоконтроль, контроль преподавателя.

Учебное пособие, методические указания, сборник задач размещены на сайте. <http://lamm.spbstu.ru/reactor>.

**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 издания | Год изд. | К-во экз.[[7]](#footnote-7) | Место хранения |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Александров С.Е. Технология материалов электронной техники. Процессы химического осаждения из газовой фазы Учебное пособие: Изд-во С-Петерб. политехн. ун-та, 2005- 92 с. | 2005 | 4, 10 | ОНЛ,  лаб.каф. ФХиТМТ |
| 2 | [Чоркендорф, Иб](http://www.unilib.neva.ru/cgi-bin/zgate?ACTION=follow&SESSION_ID=529491&TERM=%D0%A7%D0%BE%D1%80%D0%BA%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%BE%D1%80%D1%84,%20%D0%98%D0%B1%5B1,1004%5D&LANG=rus). Современный катализ и химическая кинетика / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В. И. Ролдугина .— Долгопрудный : Интеллект, 2010 .— 500 с. | 2010 | 3 | ОНЛ |

**Дополнительная литература:**

1. Физическая химия. Химическая кинетика : учеб. пособие / Б. В. Патров, И. Б. Сладков ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011 .— 49 с.

**Электронные и Internet-ресурсы:**

Учебное пособие, методические указания, сборник задач размещены на сайте <http://lamm.spbstu.ru/reactor>.

**9.3. Технические средства обеспечения дисциплины**

**10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Компьютерный класс ПЭВМ с микропроцессором не ниже Pentium IV, объем ПЗУ не меньше 2-3 ГБ, объем ОЗУ не меньше 512 МБ.

**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**

Примеры вопросов на зачете:

1. Техника процессов химического осаждения из газовой фазы.
2. Типы CVD реакторов.
3. Сущность метода трассирования.
4. Измерение температуры газа с помощью термопар,
5. Измерение температуры газа с помощью спектроскопии комбинационного рассеивания,
6. Измерение температуры газа с помощью интерференционной голографии.
7. Определение состава реакционной газовой фазы в зоне осаждения оптическими методами.

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)