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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Основы оптических методов исследования материалов микро и нанотехнологии**

|  |  |
| --- | --- |
| 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 разработали:

проф., д.х.н. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Таганцев Д.К.

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

**Цель –** формирование знаний в области прикладной оптики и оптических методов исследования материалов, включая знания, умения, навыки и социально-личностные качества, обеспечивающие успешность научно-педагогической деятельности.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

1. Изучение фундаментальных основ лучевой и волновой оптики, а также основных оптических методов исследования материалов и оптических и структур.

2. Формирование системы знаний, позволяющих компетентно применять на практике оптические методы (рефракционные, интерферометрические и дифракционные) для исследования материалов разного типа, в частности, служащих исходными материалами в реакторах и установках для производства материалов и приборов для электронной техники, включая газы, жидкости, кристаллические и аморфные твердые тела, а также композитные материалы.

3. Формирование умений быстро и профессионально овладевать вновь появляющимися оптическими методами и оценивать их применимость к решению конкретных материаловндческих задач, а также, в случае необходимость, умеющих самостоятельно разрабатывать новые оптические схемы и методы.

4. Получение практических навыков работы с литературными источниками по теме курса.

**Результаты обучения (компетенции) выпускника ООП**, на формирование которых ориентировано изучение дисциплины «Прикладная оптика в задачах технологии материалов и структур электронной техники» (в соответствии с ФГОС ВО)

|  |  |
| --- | --- |
| **Код** | **Результат обучения (компетенция) выпускника ООП** |
| ОПК-1 | владеть научно обоснованной методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности |
| ОПК-4 | готовность к организации работы исследовательского коллектива в профессиональной деятельности |
| ОПК-5 | готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования |
| 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 «Прикладная оптика в задачах технологии материалов и структур электронной техники» и её вклад в формирование результатов обучения (компетенций) выпускника ООП (при разработке раздела использован раздел 6 ФГОС ВО):

**знание:**

* фундаментальных основ лучевой и волновой оптики,
* фундаментальных основ рефракционных, интерференционных и дифракционных методов исследования материалов;
* принципиальных схем типичных оптических приборов - микроскопов, интерферометров, рефрактометров, эллипсометров и др.

**умение:**

* выбирать соответствующие оптические методы для исследования конкретных свойств материалов;
* разрабатывать и конструировать нестандартные оптические схемы экспериментальных установок для исследования свойств материалов;
* профессионально ставить оптические эксперименты

**владение:**

* методами компьютерной графики;
* навыками обработки данных, полученных в результате оптических измерений, для определения физических и физико-механических свойств материалов,
* техникой статистической обработки экспериментальных данных;
* навыками работы на типовых оптических приборах (микроскопах, интерферометрах, дифрактометрах, рефрактометрах и эллипсометрах)

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

Дисциплину «Основы оптических методов исследования материалов микро и нанотехнологии» аспиранты изучают на 4 году обучения в течение одного семестра.

Изучение дисциплины опирается на знания в области математики (включая теорию вероятностей и математическую статистику), общей физики, физики твердого тела и физической химии, освоенные на предшествующих этапах обучения.

Результаты изучения дисциплины используются при изучении следующих дисциплин: методы исследования наноструктур и наноматериалов, приборы и технологии производства наноматериалов.

Кроме того, результаты изучения дисциплины используются в ходе их собственной практики 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 |
| 7-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 |
| 7-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** |
| --- | --- | --- | --- |
| 0. | 0. Введение |
| 1. | 1. Основы лучевой (геометрической) оптики. |
|  | 1.1. Основные законы оптики. Показатель преломления, скорость света. Принципы Гюйгенса, Ферма. Лучевое уравнение, распространение лучей в оптически неоднородной среде | 0 | 3 |
|  | 1.2. Сферические поверхности. | 0 | 3 |
|  | 1.3. Идеальная и центрированная оптические системы. Построение изображения в центрированной оптической системе. | 1 | 4 |
| 2. | 2. Основы волновой оптики. |
|  | 2.1. Волновое уравнение, волновой процесс. | 0 | 4 |
|  | 2.2. Электромагнитная волна, уравнения Максвелла. Монохроматическая волна. Диапазон, энергия электромагнитного излучения. | 1 | 4 |
|  | 2.3. Взаимодействие электромагнитного излучения с материалами. Показатель преломления, дисперсия показателя преломления. Классификация волн. Законы Френеля, Керра, Фарадея, Малюса. | 1 | 5 |
| 3. | 3. Основы фотометрии. |
|  | Величины, характеризующие электромагнитное излучение, световые потоки. Методы измерения силы света | 0 | 7 |
| 4. | 4. Микроскопия. |
|  | Оптические схемы наиболее распространенных микроскопов и их назначение. Объективы и окуляры. Увеличение микроскопа и его разрешающая способность. | 1 | 6 |
| 5. | 5. Рефракционные методы исследования материалов |
|  | 5.1. Теоретические основы. Поляризуемость. Связь поляризуемости и показателя преломления с микроскопическими свойствами материалов, температурные зависимости рефракции. Поляризация преломленных и отраженных лучей. | 0 | 2 |
|  | 5.2. Рефрактометрия. Эллипсометрия. | 1 | 5 |
| 6. | 6. Интерференционные методы исследования материалов |
|  | 6.1. Теория интерференции волн. Осуществление когерентных световых пучков. | 0 | 3 |
|  | 6.2. Интерферометрия. Применение интерферометрии к исследованию материалов. Волоконные интерферометры. | 0 | 3 |
| 7. | 7. Дифракционные методы исследования материалов |
|  | 7.1. Теория дифракции волн.  | 0 | 3 |
|  | 7.2. Дифрактометрия. Применение дифракционных методов для изучения материалов. Дифрактометры. | 1 | 4 |
|  | 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. Основы лучевой (геометрической) оптики. |
| 1.1. Основные законы оптики. Показатель преломления, скорость света. Принципы Гюйгенса, Ферма. Лучевое уравнение, распространение лучей в оптически неоднородной среде | Знание основных законов оптики - закона независимости световых пучков, закона прямолинейного распространения лучей, законов преломления и отражения, закона взаимности. Знание на уровне определений, понятий, описаний, формулировок: луч, волновая поверхность, показатель преломления, скорость света. Принципы Гюйгенса, Ферма. Вывод лучевого уравнения, принципы и схемы распространение лучей в оптически неоднородной среде. |
| 1.2. Сферические поверхности. | Знание принципов сферических поверхностей, гомоцентрических пучков, стигматических и астигматических изображений, сопряженных точек и плоскости. Знание на уровне доказательств законов преломляющих и отражающих сферических поверхностей. Фокуса. Сформированные представления об инвариантах Аббе и Гельмгольца.  |
| 1.3. Идеальная и центрированная оптические системы. Построение изображения в центрированной оптической системе. | Знание идеальной оптической системы в теории Гаусса. Навыки в построении изображения в центрированной оптической системе в соответствии и с теорией. Знание на уровне понимания и описания параксиального приближения. Знание идеальной оптической системы (системы 6 кардинальных точек и 6 кардинальных плоскостей). Умения и опыт построения изображения в центрированной оптической системе. Понимание принципов и причин отклонения от идеальности, видов аберраций. |
| 2. Основы волновой оптики. |
| 2.1. Волновое уравнение, волновой процесс. | Знание волнового процесса (процесс распространения возмущения в непрерывных сред). Понимание независимости метода описания волнового процесса от типа взаимодействия между элементами среды. Вывод волнового уравнения как математического выражения любого волнового процесса, понимания всех присутствующих в нем обозначений. Навыки и опыт в нахождении общего решения волнового уравнения, скорости распространения возмущения. |
| 2.2. Электромагнитная волна, уравнения Максвелла. Монохроматическая волна. Диапазон, энергия электромагнитного излучения. | Знание уравнений Максвелла и их приведения к волновым уравнениям для векторов электрической и магнитной индукции (для плоской волны, соотношений Максвелла. Понимание аспектов рассмотрения монохроматической волны как идеализации электромагнитного излучения (частное решение волнового уравнения), реальные волны. Знание диапазона электромагнитного излучения. Знание на уровне определений, понятий, описаний, формулировок энергии электромагнитного излучения, интенсивности, вектора Пойнтинга. |
| 2.3. Взаимодействие электромагнитного излучения с материалами. Показатель преломления, дисперсия показателя преломления. Классификация волн. Законы Френеля, Керра, Фарадея, Малюса. | Понимание принципов взаимодействия электромагнитного излучения с материалами. Знание на уровне определений, понятий, формулировок показателя преломления, дисперсии показателя преломления (нормальной и аномальной), полного внутреннего отражения, угла Брюстера. Понимание, знание и владение общей теорией дисперсии показателя преломления в диэлектриках. Знание принципов классификации волн (сферических, плоских, стоячих), законов Френеля. Понимание теории двулучепреломления, искусственной анизотропии в деформационном, электрическом и магнитном полях (законы Керра и Фарадея), закон Малюса. |
| 3. Основы фотометрии. |
| Величины, характеризующие электромагнитное излучение, световые потоки. Методы измерения силы света | Знание на уровне определений, понятий, формулировок основных светотехнических и энергетических величин, характеризующих световые потоки (поток лучистой энергии, сила света, освещенность, светимость, яркость, интенсивность), эталона силы света. Владение и понимание объективных и субъективных методов измерения силы света. Знание устройства и принципа работы фотометра Люммера (кубик Люммера) |
| 4. Микроскопия. |
| Оптические схемы наиболее распространенных микроскопов и их назначение. Объективы и окуляры. Увеличение микроскопа и его разрешающая способность. | Знание и понимание устройства оптических схем наиболее распространенных микроскопов и их назначение. Понимание принципов получения увеличения микроскопа и его разрешающей способности. Знание конструкций микроскопов и дополнительных инструментов повышения качества изображения. Умения и понимания применения микроскопии в материаловедении.  |
| 5. Рефракционные методы исследования материалов |
| 5.1. Теоретические основы. Поляризуемость. Связь поляризуемости и показателя преломления с микроскопическими свойствами материалов, температурные зависимости рефракции. Поляризация преломленных и отраженных лучей. | Владение теоретическими основами рефрактометрии. Знание на уровне определений, понятий, формулировок поляризуемости и ее видов (электронной, атомной и ориентационной), удельной, молярной, атомной рефракции и их аддитивности. Знание последовательности вывода формул Клаузиуса-Мосотти и Лоренц-Лорентца. Понимание связи поляризуемости и показателя преломления (удельной рефракции) с микроскопическими свойствами материалов (атомов и молекул), температурные зависимости рефракции. Понимание принципов поляризации преломленных и отраженных лучей.  |
| 5.2. Рефрактометрия. Эллипсометрия. | Знание и понимание методов измерения показателя преломления (рефракции) и коэффициента отражения, нафелометрии (метода определения концентрации, размеров и формы полимеров и других диспергированных частиц). Понимание принципов работы оптических волноводов, знание модовых спектров как "инструмента" изучения диффузии ионов в оптических материалах. Знание законов Френеля - основы эллипсометрия. Понимание, умения, навыки и опыт элипсометрии, основы и принципы применения элипсометров для изучения поверхностных состояний атомов и фазовых переходов. |
| 6. Интерференционные методы исследования материалов |
| 6.1. Теория интерференции волн. Осуществление когерентных световых пучков. | Знание на уровне определений, понятий, формулировок когерентность, длина когерентности, цуг, частично когерентные волны, интерференция поляризованных волн, оптическая длина пути, таутохронизм. Понимание теории интерференции волн. Осуществление когерентных световых пучков (по Френелю, Бийе, Ллойду, Полю, Юнгу др.). Кольца Ньютона. Знание и понимание влияния размеров источников на интерференционную картину.  |
| 6.2. Интерферометрия. Применение интерферометрии к исследованию материалов. Волоконные интерферометры. | Устройство и принцип работы интерферометров Жамена, Майкельсона, Фабри-Перо, Маха-Цендера (Рождественского), волоконных интерферометров. Опыт и навыки применения интерферометрии к исследованию материалов (измерение показателя преломления, изучение диффузии, интерферометрические дилатометры и газоанализаторы, крюки Рождественского, исследование поверхностей, изучение электрических и оптических нелинейностей, др.). |
| 7. Дифракционные методы исследования материалов |
| 7.1. Теория дифракции волн.  | Знание на уровне определений, понятий, формулировок построений Френеля, зонной пластинки, Дифракции на круглом отверстии и экране, дифракции Фраунгофера, дифракции от одной и нескольких щелей, дифракционной решетки (как спектрального прибора), дифракции на многомерных структурах, голографии. |
| 7.2. Дифрактометрия. Применение дифракционных методов для изучения материалов. Дифрактометры. | Знание применения дифракционных методов для изучения материалов (фотонных кристаллов, композитных оптических материалов, акустических свойств материалов). Дифрактометры: устройство, основные принципы работы. |

**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 | 56 |
| выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ |  |
| подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям |  |
| подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам  |  |
| подготовка к экзаменам, зачетам | 10 |
| 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. | Прикладная оптика : учеб. пособие для вузов по направлению 200200 - Оптотехника и оптическим специальностям / под ред. Н. П. Заказнова .— Изд. 3-е, стер .— СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 312 с. : ил. ; 21 см .— (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Библиогр.: с.300-301 .— ISBN 978-5-8114-0757-6. | 2010 | 2 | ФБ |
| 2. | Физический практикум. Оптика и атомная физика : учебное пособие / [Ю. П. Яшин [и др.] ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2015 .— 134 с. : ил. ; 21 см .— Авт. указаны перед вып. дан. — Библиогр. в конце работ .— ISBN 978-5-7422-4673-2. | 2015 | 446 | ФБ |

**Дополнительная литература:**

1. Левшин, Л. В. Оптические методы исследования молекулярных систем : Учеб. пособие для вузов. Ч.1. Молекулярная спектроскопия .— М. : Изд-во МГУ, 1994 .— 320 с.

2. Зайдель, Александр Натанович. Техника и практика спектроскопии / А.Н. Зайдель, Г.В. Островская, Ю.И. Островский .— 2-е изд., испр. и доп .— Москва : Наука, 1976 .— 392 с. : ил .— (Физика и техника спектрального анализа : (Библиотека инженера)) .— Библиогр.: с. 383-388.

**9.3. Технические средства обеспечения дисциплины**

**10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Наличие доступа к электронным ресурсам Фундаментальной библиотеки СПбПУ. Наряду с использованием научно-методического материала используется: демонстрационные средства, слайды, презентации, демонстрационные модели.

**11. Критерии оценивания и оценочные средства**

**11.1. Критерии оценивания**

Реферат по теме, согласованной с преподавателем и научным руководителем аспиранта, включающий в себя анализ научной и патентной литературы, определение наиболее перспективных оптических методов исследования материалов по заданному направлению и предложения по возможным направлениям дальнейших исследований в области оптических методов микро и наноматериалов.

**11.2. Оценочные средства**

Ведется контроль самостоятельной работы аспирантов, выполняющих реферативную работу, проходят собеседования с преподавателем на тему реферата по желанию аспиранта. По окончании работы над рефератом аспирант сдает ее своему научному руководителю, затем преподавателю дисциплины.

Примеры вопросов на зачете:

1. Законы оптики - закон независимости световых пучков, закон прямолинейного распространения лучей, законы преломления и отражения, закон взаимности.
2. Сферические поверхности. Гомоцентрические пучки, стигматические и астигматические изображения. Законы преломляющих и отражающих сферических поверхностей.
3. Идеальная и центрированная оптические системы.
4. Волновое уравнение и его общее решение, волновой процесс
5. Электромагнитная волна. Уравнения Максвелла и их приведение к волновым уравнениям для векторов электрической и магнитной индукции (для плоской волны).
6. Энергия электромагнитного излучения, интенсивность, вектор Пойнтинга.
7. Взаимодействие электромагнитного излучения с материалами. Показатель преломления, дисперсия показателя преломления
8. Величины, характеризующие электромагнитное излучение.
9. Основные светотехнические и энергетические величины, характеризующие световые потоки (поток лучистой энергии, сила света, освещенность, светимость, яркость, интенсивность).
10. Объективные и субъективные методы измерения силы света. Фотометр Люммера (кубик Люммера)

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

Специальных методических рекомендаций по изучению дисциплины «Прикладная оптика в задачах технологии материалов и структур электронной техники» не предусмотрено, так как институт аспирантуры подразумевает вовлечение в процесс обучения дипломированных специалистов или исследователей, имеющих магистерскую степень и способных самостоятельно решать вопросы самообразования и повышения собственной квалификации.

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)