

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФНИЦ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА» РАН)

Принято на Ученом совете
ИПЛИТ РАН - филиала
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Протокол № 4/2020 от 24 сентября 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

_____ О.А. Алексеева
« 24 » сентября 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

«ОСНОВЫ ПОЛИМЕРНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИКИ»

направление подготовки **11.06.01** Электроника, радиотехника и системы связи
направленность Квантовая электроника (**05.27.03**)

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь



Шатура
2020

1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины «Основы полимерной интегральной оптики» является овладение современными профессиональными знаниями в области квантовой электроники, связанными с исследованием физических процессов в полимерных материалах под действием актинического лазерного излучения, распространения света в волноводах, лазерных методов создания полимерных элементов интегрально – оптических устройств (узкополосных брэгговских фильтров, мультиплексоров/демультиплексоров, волноводных усилителей, высокоскоростных модуляторов оптических сигналов, лазеров с распределенной обратной связью), методов измерения оптических свойств световедущих пленок и волноводов.

Задачи дисциплины:

- формирование представления об основах интегральной оптики и лазерных микротехнологий формирования полимерных элементов интегрально – оптических устройств;
- изучение физики процессов фотополимеризации мономеров под действием актинического лазерного излучения (изменение показателя преломления, усадки, и т.п.);
- изучение свойств волноводных мод световодов в телекоммуникационных областях спектра;
- изучение методов формирования тонких световедущих полимерных пленок и методов измерения их оптических характеристик;
- рассмотрение механизма формирования лазерно-индуцированных брэгговских решеток показателя преломления в полимерных материалах;
- приобретение практических навыков формирования различных элементов интегрально – оптических устройств (формирование полимерных волноводов, разветвителей, направленных ответвителей с использованием методов УФ фотолитографии и прямого лазерного рисования);
- изучение и практическое использование методов и приборов для измерения физических и оптических параметров тонких полимерных пленок и канальных полимерных волноводов.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы аспирантуры

Дисциплина «Основы полимерной интегральной оптики» (индекс Б1.В.ДВ.2.3) относится к вариативной части программы подготовки аспирантов по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность 05.27.03 Квантовая электроника).

Дисциплина после выбора должна быть освоена аспирантом обязательно (но не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане).

3. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины

Освоение дисциплины «Основы полимерной интегральной оптики» направлено на формирование следующих универсальных (УК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций аспиранта:

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);

ОПК-1 (владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности);

ОПК-2 (владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий);

ПК-1 (способность проводить научные исследования и технические разработки лазеров, приборов, систем и комплексов с использованием лазерного излучения, материалов, элементно-узловой базы, технологий и специального оборудования с целью развития лазерной техники и лазерных информационных и фотонных технологий и их применения в различных отраслях науки, технике, медицине).

4. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Основы полимерной интегральной оптики» аспирант должен

знать:

- общие понятия и определения, используемые при описании процессов распространения света в оптических волноводах, этапы фотоинициирования реакции радикальной фотополимеризации мономеров под действием актинического лазерного излучения;
- перспективные направления исследований в области лазерных технологий формирования полимерных интегрально – оптических устройств;
- основные механизмы поглощения электромагнитного излучения в полимерных материалах;
- основные оптические и физические характеристики фторсодержащих полимерных материалов, их отличие от свойств углеводородных полимеров;
- механизмы формирования микроструктур в полимерных материалах под действием актинического лазерного излучения;
- основные методы измерения параметров тонких световедущих пленок и оптических волноводов (рефрактометрические методы, спектроскопическая эллипсометрия, метод призмного возбуждения волноводных мод, рентгеновская дифрактометрия).

уметь:

- оценить результаты воздействия актинического лазерного излучения на способные к фотополимеризации композиции (степень полимеризации);
- пояснить и теоретически описать механизмы поглощения световой энергии в полимерных материалах в телекоммуникационных областях длин волн вблизи 0.85, 1.3 и 1.55 мкм;
- пояснить и теоретически описать механизмы формирования субмикронных решеток показателя преломления в одномодовых полимерных волноводах под действием интерферирующих лазерных лучей;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач с целью лазерного формирования различных полимерных элементов интегрально – оптических устройств;
- планировать оптимальное проведение физического эксперимента.

владеть:

- методами измерения коэффициентов поглощения (усиления) светового излучения в полимерных волноводах;
- методами измерения оптических параметров тонких световедущих пленок и канальных оптических волноводов;
- навыками постановки физических задач в области взаимодействия лазерного излучения с полимерными материалами.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине

(заполняется в соответствии с картами компетенций)

| Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения) | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|---|
| УК-1 | 31 (УК-1) Знать методы критического анализа и оценки современных достижений в выбранной области квантовой электроники, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. У1 (УК-1) Уметь анализировать альтернативные варианты решения |

| | |
|--------------|--|
| | <p>исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p> |
| ОПК-1 | <p>З1 (ОПК-1) Знать методики анализа современных проблем, способы и методы решения теоретических и экспериментальных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У1 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять расчетно-теоретические методы для разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У2 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять экспериментальные методы исследования для решения научных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>В1 (ОПК-1) Владеть современными методами теоретических и экспериментальных исследований для решения задач в выбранной области профессиональной деятельности.</p> |
| ОПК-2 | <p>З1 (ОПК-2) Знать современные информационные технологии, программные продукты и ресурсы сети Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>У1 (ОПК-2) Уметь использовать профессионально-профилированные знания в области современных информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>В1 (ОПК-2) Владеть навыками поиска (в том числе с использованием новейших информационных систем и баз данных) и критического анализа научной и технической информации по тематике проводимых исследований.</p> <p>В2 (ОПК-2) Владеть навыками использования знаний в области информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> |
| ПК-1 | <p>З1 (ПК-1) Знать современное состояние науки в области квантовой электроники, тенденции развития фундаментальных исследований и прикладных разработок лазеров и лазерных информационных и фотонных технологий, цели и задачи научных исследований в выбранной области, базовые принципы и методы их организации.</p> <p>З2 (ПК-1) Знать физические и конструкционные особенности лазеров разных типов, современные материалы, компоненты, лазерное диагностическое и технологическое оборудование, технологические процессы производства.</p> <p>У1 (ПК-1) Уметь проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p> <p>В2 (ПК-1) Владеть навыками исследования, моделирования, проектирования, конструирования и практического применения материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p> |

6. Структура и содержание дисциплины

6.1. Структура дисциплины

| Вид работы | Семестр | | | Всего |
|--|---------|--|--|-------|
| | 3-4 | | | |
| Общая трудоёмкость, акад. часов | 144 | | | 144 |
| Аудиторная работа: | 32 | | | 32 |
| Лекции, акад. часов | 16 | | | 16 |
| Практические занятия, акад. часов | 16 | | | 16 |
| Лабораторные работы, акад. часов | - | | | - |
| Самостоятельная работа, акад. часов | 108 | | | 108 |
| Индивидуальные занятия, акад. часов | - | | | - |
| Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен) - ЗАЧЕТ | 4 | | | 4 |

6.2. Разделы дисциплины

| № раздела | Наименование раздела | Аудиторная работа, трудоёмкость (акад. часов) | Самостоятельная работа, трудоёмкость (акад. часов) |
|-----------|--|---|--|
| 1 | Оптические и физические свойства фторсодержащих полимерных материалов. Современные методы исследования свойств световедущих полимерных плёнок. | 12 | 30 |
| 2 | Физические основы лазерных технологий формирования полимерных элементов интегрально – оптических устройств. | 12 | 40 |
| 3 | Методы исследования оптических (спектр поглощения) и скоростных характеристик интегрально – оптических устройств на основе одномодовых и многомодовых полимерных волноводов. | 8 | 30 |
| | Итоговая аттестация (зачет) | 4 | 8 |
| | Общая трудоёмкость дисциплины: | 36 | 108 |

6.3. Лекции

| № раздела | № лекции | Тематика | Трудоёмкость (акад. часов) |
|-----------|----------|---|----------------------------|
| 1 | 1 | Интегральная оптика (обзорная лекция). Оптические волноводы. Методы расчета распространения мод в волноводах. Дисперсионное уравнение. Свойства фторсодержащих мономеров и полимеров. Их использование для создания интегрально – оптических устройств. Фотоиницирование и этапы реакции радикальной фотополимеризации мономеров. Полимеризация при сверхвысоком давлении. | 2 |

| | | | |
|-----------------------------------|---|--|-----------|
| 1 | 2 | Формирование полимерных пленок методом центрифугирования (spin coating). Методы исследования оптических свойств тонких пленок (интерферометрия, рефлектометрия, спектроскопическая эллипсометрия, метод резонансного возбуждения волноводных мод, рентгеновская дифрактометрия). Методы повышения адгезии фторполимеров к кремниевым и кварцевым подложкам. | 2 |
| 1 | 3 | Формирование полимерных волноводов методом контактной УФ фотолитографии. Влияние длины волны актинического излучения на процесс фотополимеризации. Пространственное разрешение метода. Использование различных фотоинициаторов. Радикальная полимеризация без использования фотоинициаторов. Формирование волноводов из перфторированных полимеров с использованием метода «жертвенного слоя». | 2 |
| 2 | 4 | Формирование полимерных волноводов методом прямого лазерного рисования. Особенности полимеризации фоторезиста SU-8 (высокое аспектное отношение, высокое пространственное разрешение). | 2 |
| 2 | 5 | Формирование субмикронных брэгговских решеток показателя преломления в полимерных волноводах методом лазерной голографии. Фазовые маски. Техника и методы исследования спектральных характеристик волноводных Брэгговских фильтров. Мультиплексоры/демультиплексоры для высокоскоростных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) с многоволновым уплотнением каналов. | 2 |
| 3 | 6 | Люминесцирующие нанофосфоры, легированные редкоземельными элементами. Методы введения нанофосфоров в полимерную матрицу. Компактные интегрально – оптические усилители для телекоммуникационного С – диапазона длин волн 1530 – 1565 нм на основе полимерных волноводов с внедренными нанофосфорами. | 2 |
| 3 | 7 | Высокоскоростные оптические модуляторы для телекоммуникационного С – диапазона на основе полимерных волноводов с внедренными электрооптическими хромофорами. | 2 |
| 3 | 8 | Использование массивов полимерных волноводов для создания высокоскоростной оптической шины передачи данных на печатной плате для микропроцессорных вычислительных систем (супер – ЭВМ). | 2 |
| Общая трудоемкость лекций: | | | 16 |

6.4. Практические занятия

| № раздела | № занятия | Тематика | Трудоемкость (акад. часов) |
|-----------|-----------|---|----------------------------|
| 1 | 1 | Измерение показателя преломления и дисперсии мономеров методом спектроскопической рефрактометрии. Создание композиций с заданным показателем преломления. Измерение показателя пре- | 2 |

| | | | |
|---|---|--|-----------|
| 2 | 3 | Формирование световедущих пленок из перфторированных полимеров методом центрифугирования (spin coating). | 2 |
| 1 | 4 | Измерение показателя преломления и толщины полимерных пленок методом резонансного возбуждения волноводных мод в геометрии нарушенного полного внутреннего отражения. | 2 |
| 2 | 5 | Изготовление массива полимерных волноводов на печатной плате методом коротковолновой УФ фотолитографии. Измерение геометрических параметров волноводов в массиве (ширины и высоты волноводов, аспектного отношения, расстояния между световедущими жилами, плотности упаковки волноводов в массиве). Оптическая микроскопия. Микроинтерферометр МИИ-4. | 2 |
| 1 | 6 | Измерение оптических параметров и толщины полимерных пленок методом спектроскопической эллипсометрии (на эллипсометре UVISEL). | 2 |
| 3 | 7 | Формирование волноводов в полимерных пленках с внедренными электрооптическими хромофорами методом лазерного фотоосветления. | 2 |
| 2 | 8 | Измерение коэффициента поглощения в полимерном волноводе методом последовательного среза (скола). Методы введения излучения в полимерный волновод и сбора его на выходе из волновода. | 2 |
| 3 | * | Измерение скорости передачи данных и битовых ошибок в оптической шине на основе полимерных волноводов на печатной плате. | |
| Общая трудоемкость практических занятий: | | | 16 |

* - дополнительное практическое занятие в рамках курса к разделу 3.

6.5. Самостоятельные занятия

| № раз-дела | Вид самостоятельной работы | Трудоёмкость (акад. часов) |
|------------|--|----------------------------|
| 1 | Работа с лекционным материалом. Решение задач по заданию преподавателя. Формула Брэгга – Вульфа. Определения степени аморфности (поликристалличности) полимера. Самостоятельное изучение темы: Формирование полимерных волноводов методом лазерного фотоосветления хромофоров. Самостоятельное ознакомление с программами для моделирования распространения света в оптических волноводах (BeamProp, Comsol). | 30 |
| 2 | Работа с лекционным материалом. Решение задач по заданию преподавателя. Решение задач на тему: Формирование многослойных тонкопленочных структур с использованием стоп – слоев (численное моделирование в программе BeamProp). Самостоятельное изучение темы: Прямое лазерное формирование полимерных волноводов методом УФ фотополимеризации. | 40 |
| 3 | Работа с лекционным материалом. Решение задач по заданию преподавателя. | 30 |

Руководитель дисциплины оставляет за собой право уточнять тематику и форму проведения аудиторных занятий.

Основная часть работы аспиранта является самостоятельной и включает изучение рекомендованной руководителем дисциплины литературы, работу с источниками, написание текстов, составление и защиту презентаций, подготовку к итоговому собеседованию и т.п.

По согласованию с руководителем дисциплины возможно проведение индивидуальных консультаций и собеседования с руководителем дисциплины.

В случае отсутствия аудиторных занятий или невозможности их посещать руководитель дисциплины предлагает аспиранту соответствующую отработку с тем же объемом оценки проделанной работы.

7. Аттестационные критерии

От аспиранта требуется посещение занятий, выполнение заданий руководителя дисциплины, знакомство с рекомендованной литературой и современными научными приборами. По согласованию с научным руководителем возможна подготовка зачетной письменной работы (реферата, аналитической записки, обзора источников или литературы и т.п.). При аттестации аспиранта оценивается качество работы на занятиях (умение вести научную дискуссию, способность четко и ёмко формулировать свои мысли), уровень подготовки к самостоятельной научно-исследовательской деятельности в избранной области, качество выполнения заданий (презентаций, докладов, аналитических записок и др.).

8. Требования к итоговой аттестации по дисциплине

Итоговая аттестация для дисциплины проводится в форме зачета.

Условия аттестации, а также вопросы для повторения (контрольные вопросы) и задания руководителя дисциплины определяются в начале курса. Обучающийся должен показать владение предметом, знание рекомендованных статей и монографий, материалов конференций и т.п., умение выполнять устные и письменные задания руководителя дисциплины.

9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

9.1. Перечень и карта компетенций дисциплины «Основы полимерной интегральной оптики»

| Универсальные компетенции | | | | | | Общепрофессиональные компетенции | | | | | Профессиональные компетенции | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|------|
| УК-1 | УК-2 | УК-3 | УК-4 | УК-5 | УК-6 | ОПК-1 | ОПК-2 | ОПК-3 | ОПК-4 | ОПК-5 | ПК-1 | ПК-2 |
| + | | | | | | + | + | | | | + | |

Критерии оценивания компетенций приведены в основной образовательной программе высшего образования – программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, направленность 05.27.03 Квантовая электроника.

9.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

9.2.1. Контрольные вопросы для сдачи зачета

1. Какой основной вклад в поглощение лазерного излучения определяют оптические свойства полимерных материалов в телекоммуникационном С - диапазоне длин волн вблизи 1.55 мкм: а) поглощение свободными электронами, б) колебательное поглощение (обертон валентных колебаний атомов в макромолекуле полимера), в) дефекты волноводов? Каково их влияние на рассеяние света в волноводе?
2. Почему поглощение фторсодержащих полимерных материалов в С – диапазоне существенно ниже, чем у углеводородных полимеров?
3. Какова точность измерения показателя преломления тонких полимерных пленок с использованием: а) спектроскопической эллипсометрии; б) призмного устройства связи, в) спектроскопической рефрактометрии?
4. Чем определяется предельное пространственное разрешение лазерной УФ фотолитографии: а) длиной волны актинического излучения, б) разрешением фотошаблона, в) свойствами фоторезиста (мономера)?
5. Каков основной вклад в коэффициент затухания света в одномодовых и одномодовых полимерных волноводах: а) материальное поглощение, б) рассеяние на неоднородностях внутри световедущей жилы, в) рассеяние на неоднородностях на границе раздела световедущая жила - оболочка?
6. Чем обусловлена глубина и ширина m – линий при резонансном возбуждении направляемых мод в полимерной пленке с использованием призмного устройства связи: а) материальным поглощением в пленке, б) силой прижима (величиной зазора между пленкой и измерительной призмой), в) и тем и другим?
7. Каков минимальный показатель преломления может быть у фторсодержащих полимерных материалов: а) 1.49, б) 1.39, в) 1.29, г) 1.19?
8. В чем состоит физический механизм формирования субмикронных брегговских решеток показателя преломления в полимерных волноводах?
9. Какие перфторированные полимеры более подходят для создания интегрально – оптических устройств: а) кристаллические, б) поликристаллические, в) аморфные?
10. Что такое «дисперсионное уравнение» для расчета мод оптических волноводов? Основные виды волноводных мод. Критерий «сильной» и слабой связи в методе призмного возбуждения волноводных мод.

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Обязательная литература

1. С.М. Игумнов, В.И. Соколов, В.К. Меньшиков, О.А. Мельник, В.Э. Бойко, В.И. Дьяченко, Л.Н. Никитин, Е.В. Хайдуков, Г.Ю. Юрков, В.М. Бузник, «Фторсодержащие мономеры и полимеры со специальными свойствами для интегральной оптики и фотоники», Доклады Академии наук, Химия, Т. 446, № 3, с. 288 – 293, 2012.
2. В.И. Соколов, М.С. Китай, Г.В. Мишаков, С.И. Молчанова, В.Н. Семиногов, В.Я. Панченко, Е.В. Хайдуков, «Спектроскопический рефрактометр-профилометр для измерения показателя преломления и толщины тонкопленочных структур». Патент РФ на полезную модель № 121590 от 27.10.2012, дата приоритета 02.03.2012..
3. В.И. Соколов, В.Я. Панченко, В.Н. Семиногов, «Узкополосные брегговские фильтры на основе решеток показателя преломления в полимерных волноводах», Квантовая Электроника, 40, № 8, стр. 45, 2010.
4. Соколов В.И., Китай М.С., Мишаков Г.В., Молчанова С.И., Соколова И.В., Троицкая Е.В., «Спектроскопический рефрактометр для измерения показателя преломления мономеров и

полимеров в телекоммуникационной области длин волн вблизи 0,85 мкм», Перспективные материалы, 2010.

5. В.И. Соколов, В.Я. Панченко, «Создание элементной базы устройств для высокоскоростных теле- и дата-коммуникаций на основе субмикронных лазерных технологий» // Пути ученого. Е.П. Велихов. Под общей редакцией академика РАН В.П. Смирнова. М.: РИЦ «Курчатовский институт», 2007. Стр. 421-431.
6. В.Н. Семиногов, В.И. Соколов, В.Я. Панченко, «Точные решения в задаче дифракции волн на брэгговских решетках с аподизированным асимметричным, симметричным и антисимметричным коэффициентом связи», Радиотехника и Электроника, 2006, Т. 51, № 1, стр. 1-9.

Дополнительная литература

1. В.И. Соколов, М.С. Китай, Г.В. Мишаков, С.И. Молчанова, В.Я. Панченко, И.В. Соколова, Спектроскопический рефрактометр для измерения показателя преломления жидких и твердых сред в УФ, видимом и ближнем ИК диапазонах. ПТЭ, 2010.
2. В.И. Соколов, А.И. Худобенко, «Узкополосные Брэгговские фильтры для 1.5 мкм на основе одномодовых кварцевых волокон с боковой полировкой», Квантовая Электроника, 33, № 6, стр. 545-546, 2003.

Периодические издания, электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.п.:

| | |
|--|---|
| РИНЦ | https://elibrary.ru/orgs.asp |
| Web of Science | http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_in-put.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&preferencesSaved= |
| Scopus | https://www.scopus.com/home.uri |
| Google Scholar citations | https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8AAA&hl=ru |
| IOP Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal | http://www.iop.org/ |
| AIP материалы компании American Institute of Physics | https://www.aip.org/ |
| CASC материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC | https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases |
| APS Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals | https://www.aps.org/ |
| IEEE материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL | http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp |
| RSC материалы Royal Society of Chemistry | http://pubs.rsc.org/ |
| Wiley материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals | http://onlinelibrary.wiley.com/ |
| Inspec | https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and- |

| | |
|--|---|
| материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC | services/research-databases/inspec |
| ProQuest материалы компании и PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global | https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html |
| SpringerNature Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно: Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database | http://link.springer.com/ http://www.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22 http://zbmath.org/ http://npg.com/ https://nano.nature.com |
| Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct | https://www.elsevier.com/ |
| CCDC - Cambridge Crystallographic Data Centre Зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных | https://www.ccdc.cam.ac.uk/ |
| Scifinder База данных | https://scifinder.cas.org |

11. Образовательные технологии

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

12. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет, учебная доска.

Научные приборы: спектроскопический эллипсометр UVISEL, призмное устройство связи Metricon2010, установка центрифугирования SPIN1200-Т.

Диагностическое оборудование Центра коллективного пользования ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Программу составил:

к.ф.-м.н. В.И. Соколов