

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Резонансная интегральная нанофотоника

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Резонансная интегральная нанофотоника» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые и оптические технологии». Дисциплина обеспечивает теоретическую подготовку студентов в области нанофотоники, резонансных оптических систем и технологий нанофабрикации. В курсе рассматриваются вопросы проектирования и создания интегральных фотонных элементов, физических принципов их работы, различные приложения резонансной интегральной нанофотоники для квантовых линейных вычислений, нейронных цепей, сенсоров и других устройств.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (20 часов занятий лекционного типа, 14 часов занятий семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные методы научно-исследовательской деятельности.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин общей физики «Оптика», «Электромагнетизм», курсов «Квантовая теория» и «Электродинамика». Желательно предварительное освоение материала вариативной части программы бакалавриата: дисциплин профиля «Основы физики конденсированного состояния вещества» и «Введение в нелинейную оптику».

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Введение Понятие интегральной фотоники. История развития интегральных технологий. Основные вехи в развитии интегральной микроэлектроники, создании полупроводниковых лазеров и оптических волноводов. Области применения интегральной фотоники (дата-центры, ЛИДАРы, оптические сенсоры, линейные квантовые симуляторы)		2			2	1 час Знакомство с интернет-ресурсами по теме примерения интегральной фотоники.		1

<p>2. Материалы для интегральной нанофотоники</p> <p>§1. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Зонная структура металлов, полупроводников и диэлектриков. Различие между прямозонными и непрямозонными полупроводниками. Межзонные и внутризонные переходы, различные механизмы релаксации носителей. Зонная структура и оптические свойства кремния и германия. Зонная структура и оптические свойства арсенида галлия и фосфида индия.</p> <p>§2. Квантоворазмерные полупроводниковые структуры. Гетероструктуры на основе полупроводников III-V типа. Квантовые ямы, энергетические уровни электронов и дырок, экситоны в объемных полупроводниках и квантоворазмерных гетероструктурах. Сверхрешетки и экситонные эффекты в них при комнатных температурах. Квантовые точки.</p>	4	2		6	<p>1 час Знакомство с нелинейно-оптическими эффектами в квантоворазмерных структурах [7, стр. 122].</p> <p>2 часа Повторение лекционного материала по теме «Материалы для интегральной нанофотоники».</p>		3
---	---	---	--	---	---	--	---

<p>3. Методы создания микро- и наноструктур.</p> <p>§3. Технологии создания полупроводниковых структур на основе кремния.</p> <p>Рост и подготовка кремниевых пластин. Пластины кремния-на-изоляторе (SOI) и кремния-на-сапфире (SOS). Метод плазменного осаждения из газообразной фазы (PECVD). Различие между физическими и химическими методами осаждения. УФ фотолитография по шаблону, методы повышения разрешения. Сухое плазменное травление. Имплантация ионов, рекристаллизация. Химико-механическая планаризация (CMP), VLSI технология.</p> <p>§4. Технологии создания структур на основе полупроводников III-V типа и методы их интеграции на кремниевые чипы.</p> <p>Методы молекулярно-пучковой эпитаксии (MBE) и металл-органического осаждения из газообразной фазы (MOCVD) для эпитаксиального роста полупроводниковых гетероструктур. Методы эпитаксиального переноса и интеграции III-V структур на кремниевые чипы.</p> <p>§5. Лабораторные методы нанофабрикации.</p> <p>Методы взрывной (lift-off) и коллоидной литографии. Распыление или осаждение сфокусированным ионным пучком (FIB). Наноимпринт (NIL) и лазерная интерференционная литография (LIL).</p>	4	2		6	<p>2 часа Решение задач по проектированию схем технологических процессов для создания образцов различных наноструктур для заданного дизайна.</p> <p>2 часа Повторение лекционного материала по теме «Методы создания микро- и наноструктур».</p>		4
---	---	---	--	---	--	--	---

<p>4. Пассивные фотонные компоненты на чипе.</p> <p>§6. Интегральные оптические волноводы. Виды интегральных оптических волноводов. Эффективный показатель преломления, частота отсечки. Фотонно-кристаллические волноводы, нелинейно-оптические эффекты в них. Физические механизмы потерь в интегральных волноводах. Методы ввода и вывода излучения на чип и с чипа.</p> <p>§7. Разветвители, мультиплексоры, оптические микрорезонаторы и фильтры на их основе. Деление света на чипе с помощью мультимодовых и Y-разветвителей. AWG мультиплексоры. Оптические микрорезонаторы и моды шепчущей галереи. Интегральные фильтры на основе высокодобротных микрорезонаторов.</p>	3	3	2 часа Коллоквиум по темам «Материалы для интегральной нано-фотоники», «Методы создания микро- и наноструктур» и «Пассивные фотонные компоненты на чипе».	8	2 часа Решение задачи распространения излучения в планарном волноводе, вывод формулы для частоты отсечки [2, 3].	7 часов Подготовка к коллоквиуму	9
<p>5. Активные фотонные компоненты на чипе.</p> <p>§8. Модуляторы на чипе. Физические механизмы модуляции амплитуды и фазы излучения на оптическом чипе. Модуляторы на кремнии: термомодуляторы, модуляторы на основе инъекции свободных носителей. Электрооптические модуляторы на полупроводниковых структурах III-V типа. Эффект Франца-Келдыша, квантоворазмерный эффект Штарка.</p> <p>§9. Интегральные источники и детекторы. Лазеры на двойной гетероструктуре. Лазеры с распределенной обратной связью. Вертикально излучающие лазеры (VCSEL). Особенности</p>	3	3		6	2 часа Повторение лекционного материала по теме «Активные фотонные компоненты на чипе».		2

интеграции источников на основе полупроводников III-V типа на пассивные оптические цепи на основе кремния и нитрида кремния.							
<p>6. Оптические метаповерхности и элементы «плоской оптики».</p> <p>§10. Метаповерхности Гюйгенса и «плоская оптика».</p> <p>Наноантенны на основе полупроводниковых наночастиц с магнитными и электрическими резонансами Ми-типа, субволновые массивы таких элементов. Принцип Гюйгенса и оптические метаповерхности, управление фазовым и амплитудным профилем волны. Металинзы, волновые пластины, голограммы на основе оптических метаповерхностей. Метаповерхности для томографии квантового света.</p>		2			2	1 час Повторение лекционного материала по теме «Оптические метаповерхности и элементы плоской оптики».	1
<p>7. Квантовая интегральная фотоника.</p> <p>§11. Интегральные фотонные цепи для неклассического света.</p> <p>Особенности интегральной оптики для неклассического света. Однофотонные источники на чипе с оптической и электрической накачкой, однофотонные детекторы. Линейные оптические квантовые вычисления на чипе. Нейроморфная фотоника и оптические нейронные сети.</p>		2			2	1 час Повторение лекционного материала по теме «Квантовая интегральная фотоника».	1
Промежуточная аттестация – зачет???			4		4	15 часов Подготовка к промежуточной аттестации (за-	15

						чету).		
Итого		20	14	2		36		36

* Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

- 8.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.
- 8.2 Электронные презентации основных тем дисциплины доступные по запросу лектору.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

1. Перспективные области применения интегральной оптики.
2. Распространенные методики изготовления нано- и микроструктур.
3. Методы интеграции кремниевых структур с полупроводниковыми структурами III-V типа.
4. Типы оптических волноводов на чипе.
5. Оптические микро- и нанорезонаторы на чипе, оптическая связь с волноводами.
6. Классические и квантовые источники излучения на чипе.
7. Квантоворазмерные структуры: квантовые ямы, сверхрешетки, квантовые точки.
8. Физические механизмы модуляции амплитуды и фазы излучения на чипе.
9. Нелинейно-оптические эффекты в интегральных волноводах.
10. Особенности интегральной квантовой фотоники.

Типовые вопросы к зачету:

- 1) Интегральные технологии: история развития, понятие интегральной фотоники, области применения.
- 2) Компоненты интегральных оптических цепей: виды и назначение.
- 3) Материалы, используемые для изготовления интегральных фотонных элементов. Прямоугольные и непрямоугольные полупроводники, их оптические свойства.
- 4) Квантоворазмерные структуры на основе полупроводниковых материалов: квантовые ямы, сверхрешетки, квантовые точки. Особенность их оптического отклика.

- 5) Изготовление кремниевых микро- и нано-структур: понятие КМОП технологий, методы кремниевой микроэлектроники.
- 6) Тонкопленочные кремниевые технологии: пластины КНИ, кремний на сапфире, метод плазмохимического осаждения.
- 7) Методы масочной фотолитографии; электронно-лучевая литография; новые подходы для увеличения разрешения записи.
- 8) Технологии травления кремния через резистивную маску. Реактивное ионное травление, методы пассивации, Bosch-процесс. Ионная имплантация.
- 9) Методы металлизации и планаризации структур. Создание многослойных микросхем, принципы VLSI.
- 10) Технологии осаждения тонких пленок. PVD и CVD процессы: принципы работы и основные отличия.
- 11) Методы роста тонких пленок полупроводников III-V типа: технологии MBE и MOCVD.
- 12) Перенос эпитаксиальных пленок полупроводников III-V типа, методы селективного окисления, интеграция кремниевых чипов с III-V структурами.
- 13) Специфические методы литографии: NIL, коллоидная литография, LIL. Технология lift-off, изготовление наноструктур методами FIB.
- 14) Интегральные фотонные волноводы: разные типы структур, оптические потери, методы заведения излучения в волновод.
- 15) Распространение излучения в оптических волноводах, модель планарного волновода, эффективный показатель преломления, частота отсечки.
- 16) Пассивные компоненты: разветвители, коннекторы, AWG мультиплексоры.
- 17) Микрорезонаторы с высокой добротностью на чипе. Нелинейно-оптические эффекты в интегральных оптических цепях.
- 18) Модуляторы излучения на чипе: устройство и принципы работы. Модуляторы на основе материалов IV группы.
- 19) Электрооптические модуляторы; модуляторы на основе изменения концентрации носителей, физические принципы работы.
- 20) Лазерные источники на чипе: полупроводниковые лазеры на двойной гетероструктуре, лазеры с распределенной обратной связью, VCSEL.
- 21) Фотонные кристаллы, запрещенные фотонные зоны, диэлектрические зеркала.
- 22) Дисперсионное уравнение для одномерного фотонного кристалла.
- 23) Брэгговские волноводы, распространение излучения в брэгговских волноводах.
- 24) Нелинейные эффекты в брэгговских волноводах.
- 25) Оптические метаповерхности, принципы их работы. Метаповерхности Гюйгенса, фазовые маски и голограммы на основе метаповерхностей.
- 26) Микроструктурированные волокна, нелинейные эффекты в них.
- 27) Квантовая интегральная фотоника. Однофотонные излучатели на чипе, интегральные однофотонные детекторы.
- 28) Нейроморфная фотоника. Нейронные сети на основе интегральной оптики.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий (В2, СПК-2).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (В3, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий (З1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (З2, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (З3, СПК-3).

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий (В1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий	Успешное и система- тическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий (В2, СПК- 2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и сис- тематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий	Успешное и система- тическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и сис- тематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологи- ческих проблем,	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологи-	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа	Успешное и система- тическое применение навыков анализа методологических

<p>проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (ВЗ, СПК-3).</p>		<p>возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>ческих проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>

<p><i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий (У2, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>

<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий (31, СПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (32, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (ЗЗ, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования
---	-------------------	---	---	---	--

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применения // Издательский дом «Интеллект», т.1-2 (2012).

Дополнительная литература

2. G.T. Reed, A.P. Knights. Silicon Photonics: an introduction // Wiley (2004).
3. R. Hunsperger. Integrated Optics Theory and Technology // Springer-Verlag (2009).
4. J. Piprek. Optoelectronic devices: Introduction to Physics and Simulation // Academic Press (2003).
5. D. Dragoman. Advanced optoelectronic Devices // Springer-Verlag (1999).
6. El-Hang Lee. VLSI Micro- and Nanophotonics: Science, Technology and Applications // CRC Press (2010).
7. B.R. Nag. Physics of Quantum Well Devices // Kluwer Academic Publishers (2000).
8. S. Adachi. GaAs and Related Materials: Bulk Semiconducting and Superlattice Properties // Wiley (2009).
9. D. Andrews. Photonics // Wiley, vol. 1 - 4 (2015).

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- <http://helios-project.eu/Download/Silicon-photonics-course>
- <http://www.aimphotonics.com/what-is-integrated-photonics/>
- [http://www.i-micronews.com/category-listing/product/silicon-photonics-2018.html?utm_source=PR&utm_medium=email&utm_campaign=Silicon Photonics Ecosystem YOLE March2018 1](http://www.i-micronews.com/category-listing/product/silicon-photonics-2018.html?utm_source=PR&utm_medium=email&utm_campaign=Silicon%20Photonics%20Ecosystem%20YOLE%20March2018%201)

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации, доступные по запросу лектору. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

При реализации учебной работы в рамках дисциплины «Резонансная интегральная нанофотоника» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.