

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 2

от 26.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОПТИКА И ФОТОНИКА НАНОСТРУКТУР**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
7	3	108	16	32	0		15	0	Э
Итого	3	108	16	32	0	0	15	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются основы взаимодействия оптического излучения с полупроводниковыми и металлическими наноструктурами. Рассматривается взаимосвязь между материалом, размером и формой наноструктур и особенностями их оптических и фотофизических свойств. Излагаются вопросы квантования электромагнитного поля, оптических свойств в фотонных кристаллах и микрорезонаторах. Отдельное внимание уделяется практическому применению наноструктур для создания современных оптоэлектронных приборов и устройств.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать основные физические представления о взаимодействии оптического излучения с полупроводниковыми и металлическими наноструктурами. Сформировать у студента понимание об основных направлениях практического применения наноструктур в фотонике.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Профессиональный модуль, дисциплина по выбору

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
	научно-исследовательской		
Анализ поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики на основе подбора и изучения литературных и патентных источников	элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров элементная база, системы, материалы,	ПК-1 [1] - способен к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - Знать современное состояние развития фотоники и оптоинформатики ; У-ПК-1[1] - уметь анализировать исходные требования при решении задач в области фотоники и оптоинформатики

	<p>методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации элементная база и системы преобразования и отображения информации элементная база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры оптические системы искусственного интеллекта устройства и системы компьютерной фотоники</p>		<p>проводить поиск научнотехнической информации по теме решаемой задачи уточнять и корректировать требования к решаемой задаче в области фотоники и оптоинформатики ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками анализа простых исследовательских задач в области фотоники и оптоинформатики</p>
<p>Построение математических моделей для анализа свойств объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи</p>	<p>элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации элементная база и системы преобразования и отображения информации элементная база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры оптические системы искусственного интеллекта устройства и системы компьютерной фотоники</p>	<p>ПК-2 [1] - способен к математическому моделированию процессов и объектов фотоники и оптоинформатики, их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать возможности стандартных пакетов автоматизированного проектирования при математическом моделировании объектов фотоники и оптоинформатики.; У-ПК-2[1] - уметь решать типичные математические задачи на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования; В-ПК-2[1] - Владеть навыками самостоятельной разработки программ при математическом моделировании процессов и объектов фотоники и оптоинформатики.</p>
<p>производственно-технологической</p>			

<p>Осуществление наладки, настройки и опытной проверки отдельных видов элементов, устройств и систем фотоники и радиофотоники в процессе НИОКР и опытного производства</p>	<p>элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации элементная база и системы преобразования и отображения информации элементная база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры оптические системы искусственного интеллекта устройства и системы компьютерной фотоники</p>	<p>ПК-7 [1] - способен к разработке технических заданий на конструирование отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-7[1] - Знать требования, предъявляемые к технической документации при конструировании отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального инструмента; У-ПК-7[1] - Уметь анализировать исходные данные и технические требования, предъявляемые к конструируемым узлам приспособлений, оснастки и специального инструмента; формулировать и обосновывать требования к разрабатываемым узлам и элементам; В-ПК-7[1] - Владеть знаниями по вопросам стандартизации, метрологии, технике измерений и контролю качества навыками разработки проектной и рабочей технической документации</p>
--	--	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

<p>Направления/цели воспитания</p>	<p>Задачи воспитания (код)</p>	<p>Воспитательный потенциал дисциплин</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)</p>	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных</p>

		образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной



	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Второй раздел	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	16	0
	<b>Тема 1</b> Распространение электромагнитных волн в среде. Материальные уравнения. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Эванесцентные поля.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 2</b> Спектральное разложение в оптике. Связь спектральной ширины и длительности импульса. Угловой спектр электромагнитных волн. Предел фокусировки оптического излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 3</b> Энергетический спектр атомов, молекул, кристаллов. Энергетический спектр полупроводниковых нано структур различной размерности (nanoplate, nanowire, quantum dot, superlattice). Примеры наноструктур. Функция распределения. Плотность состояний.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 4</b> Полуклассическая теория взаимодействие оптического излучения с веществом. Коэффициенты Эйнштейна. Скоростные уравнения. Уширение линии оптического перехода. Поглощение и излучения света в полупроводниках.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 5</b> Релаксация оптического возбуждения в молекулах, полупроводниках и наноструктурах. Излучательная и безызлучательная релаксация. Каналы безызлучательной релаксации. Квантовый выход люминесценции. Безызлучательный перенос энергии.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 6</b> Электролюминесценция. Использование полупроводниковых наноструктур для создания светодиодов и источников лазерного излучения.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	8	16	0
	<b>Тема 7</b> Полупроводниковые фотоприемники. Принципы работы основные характеристики. Использование наноструктур для создания современных фотоприёмников.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 8</b> Оптические волокна и фотонные кристаллы. Фотонная запрещенная зона, закон дисперсии. Дефекты в фотонных кристаллах. Применение фотонных кристаллов (оптоэлектронные кремниевые чипы, радиофотоника).	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 9</b> Люминофор в фотонном кристалле. Квантование электромагнитного поля в микрорезонаторе. Плотность фотонных состояний и вероятность спонтанного излучения. Эффект Парселла.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 10</b>	Всего аудиторных часов		



Оптические свойства металлов. Плазмонные колебания. Поверхностные и локализованные плазмоны в металлических наноструктурах.	1	3	0
	Онлайн		
	0	0	0
<b>Тема 11</b> Сенсоры на плазмонном резонансе. Ближнепольная оптическая микроскопия. Спайзер.	Всего аудиторных часов		
	1	4	0
	Онлайн		
	0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
	<b>Тема 1</b> Распространение электромагнитных волн в среде. Материальные уравнения. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Эванесцентные поля.
	<b>Тема 2</b> Спектральное разложение в оптике. Связь спектральной ширины и длительности импульса. Угловой спектр электромагнитных волн. Предел фокусировки оптического излучения.
	<b>Тема 3</b> Энергетический спектр атомов, молекул, кристаллов. Энергетический спектр полупроводниковых наноструктур различной размерности (nanoplate, nanowire, quantum dot, superlattice). Примеры наноструктур. Функция распределения. Плотность состояний.
	<b>Тема 4</b> Полуклассическая теория взаимодействия оптического излучения с веществом. Коэффициенты Эйнштейна. Скоростные уравнения. Уширение линии оптического перехода. Поглощение и излучения света в полупроводниках.
	<b>Тема 5</b> Релаксация оптического возбуждения в молекулах, полупроводниках и наноструктурах. Излучательная и безызлучательная релаксация. Каналы безызлучательной

	релаксации. Квантовый выход люминесценции. Безызлучательный перенос энергии.
	<b>Тема 6</b> Электролюминесценция. Использование полупроводниковых наноструктур для создания светодиодов и источников лазерного излучения.
	<b>Тема 7</b> Полупроводниковые фотоприемники. Принципы работы основные характеристики. Использование наноструктур для создания современных фотоприёмников.
	<b>Тема 8</b> Оптические волокна и фотонные кристаллы. Фотонная запрещенная зона, закон дисперсии. Дефекты в фотонных кристаллах. Применение фотонных кристаллов (оптоэлектронные кремниевые чипы, радиофотоника).
	<b>Тема 9</b> Люминофор в фотонном кристалле. Квантование электромагнитного поля в микрорезонаторе. Плотность фотонных состояний и вероятность спонтанного излучения. Эффект Парселла.
	<b>Тема 10</b> Оптические свойства металлов. Плазмонные колебания. Поверхностные и локализованные плазмоны в металлических наноструктурах.
	<b>Тема 11</b> Сенсоры на плазмонном резонансе. Ближнепольная оптическая микроскопия. Спайзер.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление преподавателей, занимающихся исследованиями в области полупроводниковых наноструктур и фотоники. Студенты в обязательном порядке посещают лекции ведущих мировых ученых, выступающих в вузе с лекциями на тему лазерной физики, фотоники, нанофотоники и наноэлектроники. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами на темы, связанные с дисциплиной

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8

	У-ПК-1	Э, КИ-8
	В-ПК-1	Э, КИ-8
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8
	У-ПК-2	Э, КИ-8
	В-ПК-2	Э, КИ-8
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-16
	У-ПК-7	Э, КИ-16
	В-ПК-7	Э, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ А 42 Общая физика. Оптика (главы курса) : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Л 22 Оптика : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2021

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.37 X 69 Лазерные резонаторы и распространение пучков. Основы, современные понятия и прикладные аспекты : , Москва: ДМК Пресс, 2017
2. 681.7 Ж 86 Материалы микро- и оптоэлектроники : кристаллы и световоды, Москва: Юрайт, 2018

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

В первой половине курса студентам следует уделить особое внимание пониманию физических механизмов поглощения и испускания света полупроводниками и наноструктурами на их основе. При этом следует четко усвоить взаимосвязь между размером и формой наноструктур их энергетическим спектром и оптическими свойствами. Необходимым требованием для успешного освоения данной части курса является знание и свободное владение преобразованием Фурье, а также знание теории возмущений в квантовой механике. При необходимости следует самостоятельно повторить соответствующие разделы в физической оптике и квантовой механике.

Вторая часть курса посвящена особенностям оптических и фотофизических свойств наноструктур, а также гибридных систем на их основе. Важный акцент сделан на их

практическом применении. Отдельно рассматриваются вопросы, связанные с использованием в современных оптоэлектронных устройствах фотонных кристаллов. При освоении данной части курса следует сделать акцент на понимании преимуществ, которые дает использование наноструктур и фотонных кристаллов для разработки источников и приемников оптического излучения.

При освоении материала необходимо особое внимание уделить вводным разделам, объясняющим общие принципы взаимодействия оптического излучения с веществом и распространения электромагнитных волн в полупроводниках и металлах. На практических занятиях допускается использование справочных материалов и интернет-ресурсов.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

В силу ограниченности курса одним семестром многие вопросы практического использования наноструктур в области оптики и фотоники будут рассматриваться обзорно. Вместе с тем подобный подход не нарушает его целостности и дает студентам основу для более глубокого изучения отдельных вопросов.

Логически курс «Оптика и фотоника наноструктур» разделен на две части.

В первой части курса кратко рассматриваются ключевые аспекты физической оптики, и физики твердого тела в части наноструктур, необходимые для понимания взаимодействия наноструктур с электромагнитным излучением, излагается полуклассическая модель взаимодействия оптического излучения с веществом, рассматриваются вопросы релаксации оптического возбуждения.

Вторая часть курса посвящена особенностям оптических и фотофизических свойств наноструктур, а также гибридных систем на их основе. Важный акцент сделан на их практическом применении. Отдельно рассматриваются вопросы, связанные с использованием в современных оптоэлектронных устройствах фотонных кристаллов.

Автор(ы):

Мартынов Игорь Леонидович, к.ф.-м.н.