

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**НАНООПТИКА И НАНОМАТЕРИАЛЫ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

<b>Семестр</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>В форме практической подготовки/ В</b>	<b>СРС, час.</b>	<b>КСР, час.</b>	<b>Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП</b>
3	2	72	4	44	0		24	0	3
Итого	2	72	4	44	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются современные направления развития нанооптики и нанофотоники. Обсуждаются вопросы построения элементной базы современных оптоэлектронных устройств. Отдельное внимание уделяется используемым материалам и технологиям.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать студентам представление о современных тенденциях развития оптоэлектронных устройств, областях их применения и используемых для их создания технологиях.

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

Профессиональный модуль

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>
ОПК-1 [1] – Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественно-научную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения и оценивать эффективность выбора и методов правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности с учетом специфики исследований и разработки приборов и систем, технологий производства оптических сред, материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	З-ОПК-1 [1] – Знать современное состояние развития исследований и разработок приборов и систем, технологий производства оптических сред, материалов и устройств фотоники и оптоинформатики У-ОПК-1 [1] – Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения в области фотоники и оптоинформатики В-ОПК-1 [1] – Владеть: приемами оценки эффективности выбранного решения с учетом специфики исследований и разработки приборов и систем, технологий производства оптических сред, материалов и устройств фотоники и оптоинформатики
ОПК-3 [1] – Способен приобретать и использовать новые знания в своей предметной области на основе информационных систем и технологий, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач	З-ОПК-3 [1] – Знать основы информационных технологий У-ОПК-3 [1] – Уметь приобретать и использовать новые знания в своей предметной области; предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач В-ОПК-3 [1] – Владеть навыками решения профессиональных задач с использованием информационных систем и технологий

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-исследовательский			
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области фотоники и оптоинформатики; построение математических моделей объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи; выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики; исследование элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики; выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований и измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; осуществление наладки, настройки и опытной проверки отдельных видов систем фотоники и оптоинформатики в лабораторных условиях; составление описаний</p>	<p>фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики;</p>	<p>ПК-3 [1] - способен разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать: элементную базу и устройства фотоники ; У-ПК-3[1] - Уметь: приобретать и использовать новые знания в своей предметной области; предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач в своей предметной области ; В-ПК-3[1] - Владеть: основными методами и способами контроля параметров устройств фотоники</p>

проводимых исследований, подготовка данных для составления отчетов, обзоров и другой технической документации; защита приоритета и новизны полученных результатов исследований с использованием юридической базы для охраны интеллектуальной собственности			
--	--	--	--

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	2/22/0		25	КИ-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1
2	Второй раздел	9-16	2/22/0		25	КИ-16	3-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		4/44/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	3	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

\* – 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
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	4	44	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	2	22	0
	<b>Тема 1</b> Источники излучения на основе наноструктур. Светодиоды и лазеры на базе классических полупроводниковых наногетероструктур. Гибридные наноструктуры на основе органических полупроводников и коллоидных наночастиц. Источники однофотонного излучения. Области применения и перспективы развития	Всего аудиторных часов		
		1	11	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 2</b> Источники излучения на основе наноструктур. Светодиоды и лазеры на базе классических полупроводниковых наногетероструктур. Гибридные наноструктуры на основе органических полупроводников и коллоидных наночастиц. Источники однофотонного излучения. Области применения и перспективы развития	Всего аудиторных часов		
		1	11	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	2	22	0
	<b>Тема 3</b> Детекторы оптического излучения и фотовольтаические устройства на базе наноструктур. Основные характеристики полупроводниковых фотодетекторов. Использование наногетероструктур для создания детекторов ИК диапазона, лавинных фотодиодов и детекторов одиночных фотонов. Современные направления развития солнечных ячеек. Мульти-инжекционные солнечные ячейки, солнечные ячейки гребеля, солнечные ячейки с объемным гетеропереходом. Преимущества и недостатки различных подходов. Перспективы развития	Всего аудиторных часов		
		1	11	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 4</b> Оптическая микроскопия за дифракционным пределом. Классическая оптическая микроскопия: методы и области применения. Предел оптического разрешения. Ближнеполюсная оптическая микроскопия. Методики STED и PALM	Всего аудиторных часов		
		1	11	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
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

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление приглашенных сотрудников кафедры "Физики микро- и наносистем" и других подразделений НИЯУ МИФИ, занимающихся исследованиями в области полупроводниковых наноструктур и фотоники. Студенты в обязательном порядке посещают лекции ведущих мировых ученых, выступающих в НИЯУ МИФИ с лекциями на тему лазерной физики, фотоники, нанофотоники и нанoeлектроники. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами.

## **6. 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:

<b>Компетенция</b>	<b>Индикаторы освоения</b>	<b>Аттестационное мероприятие (КП 1)</b>
ОПК-1	З-ОПК-1	3, КИ-8
	У-ОПК-1	3, КИ-8
	В-ОПК-1	3, КИ-8
ОПК-3	З-ОПК-3	3, КИ-16
	У-ОПК-3	3, КИ-16
	В-ОПК-3	3, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	3, КИ-16
	У-ПК-3	3, КИ-16
	В-ПК-3	3, 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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64		F	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

В курсе «Нанооптика и наноматериалы» изучаются современные тенденции развития оптоэлектронных устройств и приборов с использованием полупроводниковых и гибридных наногетероструктур. Цель курса – дать представление о наиболее перспективных направлениях развития фотоники и оптоэлектроники. Курс состоит из четырех больших тем.

Первая тема посвящена изучению фотофизических свойств полупроводниковых и металлических наноструктур, а также структур по управлению оптическим излучением на базе фотонных кристаллов и микрорезонаторов. При изучении этой темы подробно следует остановиться на следующих понятиях: эффект размерного квантования, плазмонный резонанс, дисперсионная зависимость, фотонная запрещенная зона, плотность состояний.

Вторая тема посвящена источникам оптического излучения на основе полупроводниковых наногетероструктур и гибридных структур с применением органических полупроводников и коллоидных наночастиц. В первой части темы следует уделить особое внимание преимуществам использования наногетероструктур для пространственной локализации носителей тока и электромагнитного излучения. Подробно рассмотреть вопрос встраивания в наногетероструктуру высокоэффективных брэгговских зеркал и модуляторов типа SESAM зеркала. Во второй части темы следует обратить внимание на технологические преимущества использования органических полупроводников и коллоидных наночастиц при создании светоизлучающих устройств для широкого коммерческого рынка.

Третья тема посвящена фотодетекторам и фотовольтаическим устройствам на базе наноструктур. При обсуждении фотодетекторов следует четко разобраться в их ключевых характеристиках и уяснить области применения устройств различного типа. Важным объектом обсуждения должны стать лавинные фотодиоды и детекторы одиночных фотонов.

Четвертая тема посвящена современной оптической микроскопии с разрешением выше дифракционного предела. При рассмотрении данной темы следует уделить особое внимание преимуществам использования оптической микроскопии по сравнению с другими методами изучения структуры наносистем, например, электронной микроскопии или малоугловому рентгеновскому рассеянию. Следует подробно остановиться на понятии дифракционного предела и возможностях его преодоления за счет использования ближнего поля.

Курс «Нанооптика и наноматериалы» рассчитан на студентов кафедр НИЯУ МИФИ, осуществляющих обучение магистров по направлению подготовки 12.04.03 «Фотоника и оптоинформатика».

Обучающийся, для успешного освоения данного курса, должен знать:

- высшую математику в соответствии с основными разделами курса высшей математики в университетском объеме;
- разделы курса теоретической физики в части квантовой механики, статистической физики;
- физическую оптику;
- физику твердого тела;
- основы физики лазеров

При освоении материала следует уделить особое внимание практическим расчетам. Допускается использование справочных материалов и интернет-ресурсов, необходимых для проведения численных расчетов.

Текущий контроль успеваемости осуществляется путем тестирования, которое проводится 2 в семестр. Ответы на вопросы для текущего контроля должны показывать уверенное владение материалом из соответствующей темы. В зависимости от характера вопроса - знание физического обоснования, необходимых количественных характеристик, владение оценочными соотношениями, схемами экспериментальных установок. Процент верных ответов дает баллы для рубежного контроля (КИ-8, КИ-16) и допуск к зачету.

По окончании курса студент обязан:

- Физические принципы лежащие в основе работы современных оптоэлектронных устройств, тенденции развития фотоники;
- Знать современные материалы и технологии, использующиеся для создания оптоэлектронных устройств;
- Уметь использовать полученные знания для описания и оценочных расчетов;
- Владеть теорией взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, данными об принципиальных физических и технологических ограничениях в работе оптоэлектронных устройств.

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

В курсе «Нанооптика и наноматериалы» изучаются современные тенденции развития оптоэлектронных устройств и приборов с использованием полупроводниковых и гибридных наногетероструктур. Цель курса – дать студентам представления о некоторых передовых разработках в области оптики, фотоники и оптоэлектроники. Курс состоит из четырех больших тем. Первая тема посвящена изучению фотофизических свойств полупроводниковых и металлических наноструктур, а также структур по управлению оптическим излучением на базе фотонных кристаллов и микрорезонаторов. При изучении этой темы следует подробно остановиться на следующих понятиях: эффект размерного квантования, плазмонный резонанс, дисперсионная зависимость, фотонная запрещенная зона, плотность состояний.

Вторая тема посвящена источникам оптического излучения на основе полупроводниковых наногетероструктур и гибридных структур с применением органических полупроводников и коллоидных наночастиц. В первой части темы следует уделить особое внимание преимуществам использования наногетероструктур для пространственной локализации носителей тока и электромагнитного излучения. Подробно рассмотреть вопрос встраивания в наногетероструктуру высокоэффективных брэгговских зеркал и модуляторов типа SESAM зеркала. Во второй части темы следует обратить внимание на технологические

преимущества использования органических полупроводников и коллоидных наночастиц при создании светоизлучающих устройств для широкого коммерческого рынка.

Третья тема посвящена фотодетекторам и фотовольтаическим устройствам на базе наноструктур. При обсуждении фотодетекторов следует четко разобраться в их ключевых характеристиках и уяснить области применения устройств различного типа. Важным объектом обсуждения должны стать лавинные фотодиоды и детекторы одиночных фотонов.

Четвертая тема посвящена современной оптической микроскопии с разрешением выше дифракционного предела. При рассмотрении данной темы следует уделить особое внимание преимуществам использования оптической микроскопии по сравнению с другими методами изучения структуры наносистем, например, электронной микроскопии или малоугловому рентгеновскому рассеянию. Следует подробно остановиться на понятии дифракционного предела и возможностях его преодоления за счет использования ближнего

Курс «Нанооптика и наноматериалы» рассчитан на студентов кафедр НИЯУ МИФИ, осуществляющих обучение магистров по направлению подготовки 12.04.03 «Фотоника и оптоинформатика».

Обучающийся, для успешного освоения данного курса, должен знать:

- высшую математику в соответствии с основными разделами курса высшей математики в университетском объеме;
- разделы курса теоретической физики в части квантовой механики, статистической физики;
- физическую оптику;
- физику твердого тела;
- основы физики лазеров

Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных технологий. Следует уделить особое внимание практическим расчетам, выполняемым самими студентами при работе над текущими заданиями. Допускается использование студентами справочных материалов и интернет-ресурсов, необходимых для проведения численных расчетов. Периодически на практических занятиях следует предлагать студентам сделать доклад по материалам публикаций в одном из тематических научных журналов.

Текущий контроль успеваемости осуществляется путем тестирования, которое проводится 2 раза в семестр. Ответы на вопросы для текущего контроля должны показывать уверенное владение материалом из соответствующей темы. В зависимости от характера вопроса - знание физического обоснования, необходимых количественных характеристик, владение оценочными соотношениями, схемами экспериментальных установок. Процент верных ответов дает баллы для рубежного контроля (КИ-8, КИ-16) и допуск к зачету.

По окончании курса студент обязан:

- Физические принципы лежащие в основе работы современных оптоэлектронных устройств, тенденции развития фотоники;
- Знать современные материалы и технологии, используемые для создания оптоэлектронных устройств;
- Уметь использовать полученные знания для описания и оценочных расчетов;
- Владеть теорией взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, данными об принципиальных физических и технологических ограничениях в работе оптоэлектронных устройств.

Автор(ы):

Мартынов Игорь Леонидович, к.ф.-м.н.