

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 05 » 09 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**НАНОФОТОНИКА**

Направление подготовки 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Профиль/программа подготовки Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы

Уровень высшего образования магистратура

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
3	4 / 144	18	36	-	45	экзамен (45 ч.)
Итого	4 / 144	18	36	-	45	экзамен (45 ч.)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Нанофотоника» являются:

- получение знаний о последних достижениях в области нанофотоники и оптоэлектроники и формирование у студентов научного мышления и современной естественнонаучной картины мира;
- изучение материалов, имеющих нанометровые размеры с новейшими оптическими свойствами и создание на их основе элементов лазерных систем;
- изучение физических основ генерации и поглощения излучения в оптическом спектре наноматериалов, используемых для оптики и лазерной техники.
- изучение физических явлений, определяющих функционирование лазерных систем на основе наноструктурированных материалов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Нанофотоника» относится к дисциплинам по выбору вариативной части блока Б.1 основной профессиональной образовательной программы. Изучение дисциплины проходит в третьем семестре, так как она требует базовой подготовки в области информационных технологий, математического моделирования, основ конструирования, методов и средств измерений параметров лазерного излучения, знаний современных материалов и методов их изготовления для оптики и лазерной техники.

Для изучения дисциплины студенты должны обладать знаниями, умениями и навыками работы с лазерными системами, измерением их параметров, математического моделирования и конструирования элементов лазерных комплексов.

Освоение дисциплины необходимо для изучения следующих дисциплин и практик учебного плана: «Основы современных технологий производства лазерной техники», «Проектирование систем транспортировки и наведения лазерного излучения», «Системы лазерной полупроводниковой накачки», «Преддипломная практика», выполнение выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины студент должен освоить следующие компетенции:

ДПК-5. Готовность разрабатывать элементы (в том числе активные) лазерных систем на основе наноструктурированных материалов.

ДПК-13. Готовность к организации и контролю процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

ПК-11. Способность руководить работами по доводке и освоению лазерных технологий и техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов.

ПК-14. Способность разрабатывать и оптимизировать программы модельных и натуральных экспериментальных исследований лазерных приборов, систем, комплексов и технологий.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

- базовые принципы работы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов (ДПК-5);
- свойства материалов, имеющих нанометровые размеры, используемых в области нанофотоники и оптоэлектроники (ДПК-5).

2) Уметь:

- применять полученные знания при разработке элементов (в том числе активных) лазерных систем на основе наноструктурированных материалов (ДПК-5).
- проводить контроль процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур (ДПК-13).

3) Владеть:

- навыками руководства работами по освоению технологий и организации техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов (ПК-11);
- навыками проведения модельных и натуральных экспериментальных исследований лазерных систем и элементов (ПК-14).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Физико-химические свойства наночастиц и нанокompозитных материалов	3	1-4	4	8	-	-	10	-	6 / 50%	Рейтинг-контроль №1
2	Технологии производства наноструктурированных устройств	3	5-6	2	6	-	-	4	-	4 / 50%	
3	Физика приборов на основе наноматериалов	3	7-10	4	8	-	-	10	-	6 / 50%	Рейтинг-контроль №2
4	Элементы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов	3	11-14	4	6	-	-	10	-	5 / 50%	
5	Модельные и натурные экспериментальные исследования лазерных приборов.	3	15-16	2	4	-	-	4	-	3 / 50%	Рейтинг-контроль №3
6	Применение лазерных устройств на основе наноструктурированных материалов.	3	17-18	2	4	-	-	7	-	3 / 50%	
<b>Всего</b>		<b>3</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>45</b>	<b>-</b>	<b>27 / 50%</b>	<b>экзамен (45 ч.)</b>

#### Содержание разделов дисциплины

Темы, разделы дисциплины	Кол-во часов	лекции	практические	лабораторные	срс
<b>Раздел 1. Физико-химические свойства наночастиц и нанокompозитных материалов</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>10</b>
Лекция 1. Наноматериалы и размерные эффекты	11	2	4	-	5
Лекция 2. Разнообразие типов наноматериалов. Структурные, морфологические и механические свойства наноматериалов и композитных структур на их основе	11	2	4	-	5
<b>Раздел 2. Технологии производства наноструктурированных устройств</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
Лекция 3. Технологические методы получения наноматериалов, композитных структур, гетероструктур, фотонных кристаллов и устройств на их основе	14	2	6	-	6
<b>Раздел 3. Физика приборов на основе наноматериалов</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>12</b>
Лекция 4. Физические принципы работы и создание	12	2	4	-	6

Темы, разделы дисциплины	Кол-во часов	лекции	практические	лабораторные	срс
приборов на базе наноматериалов и композитных структур					
Лекция 5. Оптические и фотоэлектрические явления в наноматериалах и композитных структурах	12	2	4	-	6
<b>Раздел 4. Элементы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	-	<b>12</b>
Лекция 6. Разработка и проектирование элементов лазерных систем (активные элементы, оптические компоненты)	11	2	3	-	6
Лекция 7. Схемы измерений параметров лазерного излучения. Диагностика наноматериалов и наноструктур	11	2	3	-	6
<b>Раздел 5. Модельные и натурные экспериментальные исследования лазерных приборов</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	-	<b>6</b>
Лекция 8. Моделирование свойств, физических явлений и технологических процессов в наноматериалах и композитных структурах	12	2	4	-	6
<b>Раздел 6. Применение лазерных устройств на основе наноструктурированных материалов</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	-	<b>8</b>
Лекция 9. Области применения нано- и микролазерных устройств и систем	14	2	4	-	8
<b>Экзамен</b>	<b>36</b>				
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>54</b>

На практических занятиях, ориентированных на предметную область будущей профессиональной деятельности студентов, контролируется степень усвоения студентами основных теоретических положений по основным разделам дисциплины.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- лекционно-семинарская система обучения (традиционные лекционные занятия);
- технология проблемного обучения (case study). При рассмотрении вопросов практического применения рассмотренного теоретического материала, используется диалог со студентами на предмет возможных способов решения поставленной задачи;
- мастер-классы (демонстрация на практических занятиях принципов расчета задач по различным темам);
- применение мультимедиа технологий (проведение лекционных и семинарских занятий с применением компьютерных презентаций и демонстрационных роликов с помощью проектора или компьютера);
- информационно-коммуникационные технологии (применение информационных технологий для мониторинга текущей успеваемости студентов и контроля знаний).

### 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль успеваемости является распределённым и основан на оценке нескольких составляющих.

1. Результаты рейтинг-контроля.
2. Выполнение практических заданий.

#### Вопросы рейтинг-контроля №1

1. Квантовые ограничения. Размерные эффекты.
2. Методы получения наночастиц и наноматериалов.
3. Квантовые точки, квантовая проволока, нанослой.

4. Люминесценция квантовых точек/квантовых проволоках полупроводниковых материалов.
5. Зависимость энергии люминесцентных квантов от размера наночастицы.
6. Фотонные кристаллы и метаматериалы. Понятие запрещенной зоны. Распространение света в фотонных материалах с запрещенной зоной.
7. Отрицательный показатель преломления. Метаматериалы и гиперболические материалы.
8. Метаповерхности. Аномальное преломление и отражение.
9. Коллоидные растворы.
10. Спинтроника, магнитные наноструктуры.
11. Наноразмерная оптическая микроскопия.
12. Оптические свойства сферических частиц.
13. Поверхностные плазмоны и наноплазмоника.
14. Основы локально усиленной оптической микроскопии и спектроскопии.
15. Топология наноструктур.
16. Лазерная абляция и лазерное осаждение.
17. Способы формирования наночастиц заданного размера и упорядоченных массивов этих частиц.
18. Оптические литографические методы.
19. Нанесение тонких пленок в вакууме на подложки.
20. Запись волноводных структур фемтосекундным лазерным излучением.

#### Вопросы рейтинг-контроля №2

1. Основные способы получения лазерной нанокерамики.
2. Влияние режима спекания на качество лазерной керамики.
3. Светорассеяние в керамике.
4. Светопропускание керамики в зависимости от пористости.
5. Керамика с градиентным изменением концентрации легирующей добавки.
6. Измерение спектров поглощения и люминесценции.
7. Измерение порога оптической прочности активных элементов.
8. Оптическая оксидная нанокерамика.
9. Оптическая фторидная нанокерамика.
10. Малые апертуры. Оптический предел Аббе. Субволновое пространственное разрешение.
11. Основные понятия теории волноводов. Полное внутреннее отражение. Потери и усиление оптических сигналов.
12. Нелинейно-оптические эффекты в брэгговских волноводах.
13. Элементы теории оптических наноантенн.
14. Моделирование оптических эффектов в фотонных кристаллах.
15. Способы получения реальных фотонных кристаллов

#### Вопросы рейтинг-контроля №3

1. Генерация, рекомбинация и перенос зарядов в полупроводниках в рамках зонной теории проводимости.
2. Кристаллические структуры силицидов, оксидов, нитридов, карбидов: транзисторы с Me-базой, захороненные коллекторные контакты в скоростных биполярных транзисторах, системы межсоединений в скоростных интегральных схемах.
3. Гетероструктуры: энергонезависимая память, фотоэмиттеры, фотоприемники, туннельно-резонансные диоды, оптоволоконные системы.
4. Наноконпозиты: энергонезависимая и динамическая память, конденсаторы, устройства на ПАВ, микроаттенюаторы, датчики, оптические процессоры, световоды, линии задержки, умножители частот.
5. Нанокерамика: пьезоэлементы, пьезодатчики, диэлектрики, полупроводники, проводники, магнитные, оптические элементы, конструкционные корпусные элементы

6. Нанопористые материалы: промежуточные структуры в технологическом процессе изготовления нанoeлектронных изделий, мультиматризаторы; источники энергии, сенсоры.

7. Сверхпроводники: датчики магнитного и ИК излучений, быстродействующие цифровые и аналоговые элементы.

8. НЭМС: имплантация и комбинирование с другими структурами.

9. Нанопроводники и нанотрубки: сенсоры, эмиттеры, транзисторы, переключатели, элементы памяти.

10. Способы диагностики нано- и микроустройств.

**Промежуточная аттестация** проходит в форме экзамена.

Вопросы к экзамену

**Билет 1.**

1. Квантово-размерные эффекты.
2. Методы лазерного синтеза наноструктур.

**Билет 2.**

1. Зона Бриллюэна и зонная структура фотонных кристаллов.
2. Методы получения наночастиц и наноматериалов

**Билет 3.**

1. Поверхностный плазмонный резонанс.
2. Способы получения лазерной нанокерамики

**Билет 4.**

1. Люминесценция на уровне наноструктур.
2. Способы нанесения тонких пленок на подложки.

**Билет 5.**

1. Механизм формирования волноводных структур в прозрачных средах.
2. Оптическая оксидная нанокерамика.

**Билет 6.**

1. Нелинейно-оптические эффекты в брэгговских волноводах
2. Оптическая фторидная нанокерамика

**Билет 7.**

1. Элементы теории оптических наноантенн.
2. Квантовые точки, квантовая проволока, нанослои.

**Билет 8.**

1. Физические особенности работы гетероструктур.
2. Оптические литографические методы.

**Билет 9.**

1. Способы диагностики наноматериалов.
2. Способы получения лазерной нанокерамики.

**Билет 10.**

1. Коллоидные растворы. Оптические свойства сферических частиц.
2. Метаматериалы и гиперболические материалы.

**Самостоятельная работа** студентов включает в себя:

1. Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на практических занятиях при решении задач.

2. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом при углубленном изучении дисциплины по теме пройденной лекции, при подготовке к лабораторным работам. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, рекомендованной литературы.

Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебного процесса и может осуществляться на лекциях, практических занятиях, консультациях. Как форма организации учебного процесса самостоятельная работа студентов представляет собой целенаправленную систематическую деятельность по приобретению знаний, осуществляемую вне аудитории.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется при выполнении практических заданий, на экзамене.

#### Вопросы для контроля самостоятельной работы

1. В чём заключаются особенности взаимодействия электромагнитных волн с нанообъектами?
2. Дайте определения основных характеристик наночастицы, наноматериала.
3. Какие технологии синтеза наноматериалов являются перспективными?
4. Сформулируйте понятие дифракционного предела. Как его уменьшить?
5. Какие методы позволяют диагностировать/изучать нанообъекты?
6. В каких устройствах (элементах) возможно применение наноструктурированных материалов?
7. Как можно управлять шириной спектра люминесценции наночастиц?
8. Какие типы лазерной керамики используют в современных системах?
9. Какие уравнения используются для расчёта фотонных кристаллов? Дать описание.
10. Как происходит выбор материалов оптических компонентов лазерных систем?
11. Опишите технологический процесс изготовления лазерной керамики.
12. Опишите методы оценки параметров лазерных устройств.
13. Каков механизм формирования эпитаксиальных плёнок?
14. Опишите технологию пробоподготовки материалов и наноматериалов для получения/изучения.
15. В чём особенности гиперболических материалов?

### **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

#### **а) основная литература:**

1. Аракелян С.М. Введение в фемтофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие по направлениям подготовки бакалавриата 200400 (200200) "Оптотехника", 200500 "Лазерная техника и лазерные технологии", 200700 (200600) "Фотоника и оптоинформатика" и специальностям 200200 "Оптотехника" и 200201 "Лазерная техника и лазерные технологии" / С. М. Аракелян [и др.] ; под общ. ред. С. М. Аракеляна .— Москва : Логос, 2015 .— 743 с. : ил., табл. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (211 Мб) .— Библиогр. в конце ч. — С. М. Аракелян, А. О. Кучерик, В. Г. Прокошев, В. Г. Рау, А. Г. Сергеев - преподаватели ВлГУ .— ISBN 978-5-98704-812-2.

2. Метаматериалы и структурно организованные среды для оптоэлектроники, СВЧ-техники и нанофотоники [Электронный ресурс]/ А.Ю. Авдеева [и др.]— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2013.— 368 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/32823>. — ЭБС «IPRbooks». — ISBN 978-5-7692-1310-6.

3. Орликов Л.Н. Технология приборов оптической электроники и фотоники [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Орликов Л.Н.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 87 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13992>. — ЭБС «IPRbooks». ISSN 2227-8397.

#### **б) дополнительная литература:**

1. Физико-технические основы микро- и наноразмерных устройств [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Электрон. текстовые данные.— Самара: РЕАВИЗ, 2010.— 60 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/10148>. — ЭБС «IPRbooks». ISSN 2227-8397

2. Шандаров С.М. Введение в квантовую и оптическую электронику [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шандаров С.М., Башкирова А.И.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 98 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13922>. — ЭБС «IPRbooks». ISSN 2227-8397.

3. Орликов Л.Н. Основы технологии оптических материалов и изделий. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Орликов Л.Н.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 88 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13959>. — ЭБС «IPRbooks». ISSN 2227-8397.

4. Орликов Л.Н. Основы технологии оптических материалов и изделий. Часть 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Орликов Л.Н.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 99 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13960>. — ЭБС «IPRbooks». ISSN 2227-8397.

**в) периодические издания:**

1. Журнал «Квантовая электроника». ISSN:1063-7818. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/qe/archive>.

2. Журнал «Фотоника», ISSN: 1993-7296. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.photonics.su>.

3. Журнал «Прикладная фотоника», ISSN:2411-4375. Архив номеров. Режим доступа: <http://applied.photonics.pstu.ru/archives>.

4. Журнал «Наносистемы: физика, химия, математика». ISSN: 2305-7971. Архив номеров. Режим доступа: <http://nanojournal.ifmo.ru/articles>.

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

Лекционные аудитории оснащены доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

Аудитории для проведения практических занятий оснащены устройствами диагностики наноматериалов, механико-оптическими компонентами, приборами измерения параметров лазерных источников для практического изучения принципов работы оптических устройств; оснащены современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением.



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС  
ВО по направлению 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии.

Рабочую программу составил инженер-исследователь кафедры ФиПМ К.С. Хорьков  
(ФИО, подпись)

Рецензент  
(представитель работодателя) Алексей Анисимов А.А. начальник  
НИИКО-2 ФКП "ГАПТ Газпром"  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 1 от 03.09.18 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления \_\_\_\_\_

Протокол № 1 от 03.09.18 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян  
(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_