

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

« 03 » 09 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**НАНОФОТОНИКА**

Направление подготовки 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки Инженерно-физические технологии в наноиндустрии

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.)

Владимир 2018

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Целями освоения дисциплины «Нанопотоника» являются:

- получение знаний о последних достижениях в области нанопотоники и оптоэлектроники и формирование у студентов научного мышления и современной естественнонаучной картины мира;
- изучение материалов, имеющих нанометровые размеры с новейшими оптическими свойствами;
- изучение современных разработанных архитектур и технологий производства наноструктурированных устройств генерации, усиления, модуляции, передачи и детектирования электромагнитного излучения и приборов на основе таких устройств.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО**

Дисциплина «Нанопотоника» 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 нанотехнологий и физики твердого тела, знаний методов получения композиционных материалов.

Для изучения дисциплины студенты должны обладать знаниями, умениями и навыками по использованию наноразмерных устройств, наноматериалов и их свойств в области нанопотоники.

Освоение дисциплины необходимо для изучения следующих дисциплин и практик учебного плана: «Микро- и наносистемы в технике и технологиях», «Технологии производства микро- и наносистем», «Кристаллография», «Преддипломная практика», выполнение научно-исследовательской и выпускной квалификационной работы.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

В результате изучения дисциплины студент должен освоить следующие компетенции:

ОПК-4. Способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области;

ПК-1. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в области нанотехнологии и микросистемной техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач;

ПК-2. Готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1. Знать: базовые принципы работы нанопотонных устройств (ПК-1); свойства материалов, имеющих нанометровые размеры, используемых в области нанопотоники и оптоэлектроники (ОПК-4);

2) Уметь: применять полученные знания при разработке архитектуры и технологии производства наноструктурированных устройств фотоники (ПК-2);

3) Владеть: навыками определения основных параметров устройств нанопотоники и оптоэлектроники (ОПК-4).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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	Оптические свойства нанокompозитных материалов	3	1-4	4	-	4	-	7	-	4 / 50%	Рейтинг-контроль №1
2	Физико-химические свойства наночастиц	3	5-7	4	-	12	-	7	-	8 / 50%	
3	Наноплазмоника	3	9-10	2	-	2	-	7	-	2 / 50%	Рейтинг-контроль №2
4	Технологии производства наноструктурированных устройств	3	11-14	4	-	10	-	8	-	7 / 50%	
5	Физика приборов на основе наноматериалов	3	15-16	2	-	4	-	8	-	3 / 50%	Рейтинг-контроль №3
6	Разработка архитектур наноструктурированных устройств	3	17-18	2	-	4	-	8	-	3 / 50%	
<b>Всего</b>		<b>3</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>36</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. Оптические свойства нанокompозитных материалов</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>7</b>
Лекция 1. Наноматериалы и размерные эффекты	8	2	-	2	3
Лекция 2. Разнообразие типов наноматериалов и их свойств.	8	2	-	2	4
<b>Раздел 2. Физико-химические свойства наночастиц</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>7</b>
Лекция 3. Методы получения наноматериалов, наночастиц, гетероструктур, фотонных кристаллов	15	2	-	6	3
Лекция 4. Методы диагностики наноматериалов	15	2	-	6	4
<b>Раздел 3. Наноплазмоника</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
Лекция 5. Взаимодействие с металлическими наноструктурами и наночастицами	10	2	-	2	7
<b>Раздел 4. Технологии производства наноструктурированных устройств</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
Лекция 6. Технологии получения наноматериалов и наноструктур и устройств на их основе	12	2	-	4	4
Лекция 7. Разработка и проектирование элементов нанофотоники	14	2	-	6	4
<b>Раздел 5. Физика приборов на основе наноматериалов</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>8</b>
Лекция 8. Физические принципы работы и создание приборов на базе наноматериалов и композитных структур	12	2	-	4	8
<b>Раздел 6. Разработка архитектур</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>8</b>

Темы, разделы дисциплины	Кол-во часов	лекции	практические	лабораторные	срс
<b>наноструктурированных устройств</b>					
Лекция 9. Моделирование свойств, физических явлений и технологических процессов в наноматериалах	14	2	-	4	8
<b>Экзамен</b>	<b>36</b>				
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>45</b>

### Лабораторные занятия

№ модуля дисциплины	№ п/п	Наименование и/или краткое содержание лабораторных работ	Трудоёмкость (часов)
<b>Раздел 1. Оптические свойства нанокompозитных материалов</b>	1	№ 1.1 Изучение спектров пропускания наноматериалов	2
	2	№ 1.2 Исследование наночастиц методами атомно-силовой микроскопии (АСМ)	2
<b>Раздел 2. Физико-химические свойства наночастиц</b>	3	№ 2.1 Получение коллоидных растворов наночастиц	2
	4	№ 2.2 Методы осаждения наночастиц на подложки	2
	5	№ 2.3 Исследование наночастиц методами растровой электронной микроскопии (РЭМ)	2
	6	№ 2.4 Получение спектров комбинационного рассеяния (КРС) наночастиц и наноматериалов	2
	7	№ 2.5 Изучение методов рентгеноструктурного анализа наноматериалов	2
	8	Защита лабораторных работ	2
<b>Раздел 3. Наноплазмоника</b>	9	№ 3.1 Получение и исследование тонких металлических пленок	2
<b>Раздел 4. Технологии производства наноструктурированных устройств</b>	10	№ 4.1 Исследование образцов нано- и микроустройств с помощью РЭМ	2
	11	№ 4.2 Исследование линеек лазерных диодов на основе гетероструктур	2
	12	№ 4.3 Фемтосекундное лазерное скрайбирование и резка материалов	2
	13	№ 4.4 Фемтосекундное наноструктурирование материалов	2
	14	Защита лабораторных работ	2
<b>Раздел 5. Физика приборов на основе наноматериалов</b>	15	№ 5.1 Исследование графеновых структур и возможности их использования	2
	16	№ 5.2 Запись волноводных структур в оптически прозрачных материалах	2
<b>Раздел 6. Разработка архитектур наноструктурированных устройств</b>	17	№ 6.1 Изучение методов зондовой литографии и формирование заданных наноструктур	2
	18	Защита лабораторных работ	2
<b>ИТОГО:</b>			<b>18</b>



## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- лекционно-семинарская система обучения (традиционные лекционные занятия);
- обучение в малых группах (выполнение лабораторных работ в группах из двух или трёх человек);
- 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 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 и защита лабораторных работ.

### Вопросы рейтинг-контроля №1

1. Квантовые ограничения. Размерные эффекты.
2. Методы получения наночастиц и наноматериалов.
3. Квантовые точки, квантовая проволока, нанослои.
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. Плазмон-поляритонные эффекты в наноструктурированных кристаллах и метаматериалах.
2. Поверхностные плазмоны.
3. Поляритонные кристаллы.
4. Резонансное раасеяние света на наноструктурированных пленках.
5. Сверхразрешение и усиление в метаматериалах.
6. Особенности оптических свойств метаматериалов.
7. Основные способы получения лазерной нанокерамики.
8. Измерение спектров поглощения и люминесценции.
9. Измерение порога оптической прочности активных элементов.
10. Оптическая нанокерамика.
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. Физические особенности работы гетероструктур.
3. Наноконпозиты: энергонезависимая и динамическая память, конденсаторы, устройства на ПАВ, микроаттенюаторы, датчики, оптические процессоры, световоды, линии задержки, умножители частот.
4. Нанокерамика: пьезоэлементы, пьезодатчики, диэлектрики, полупроводники, проводники, магнитные, оптические элементы, конструкционные корпусные элементы
5. Нанопористые материалы: промежуточные структуры в технологическом процессе изготовления наноэлектронных изделий, мультিকатализаторы; источники энергии, сенсоры.
6. Сверхпроводники: датчики магнитного и ИК излучений, быстродействующие цифровые и аналоговые элементы.
7. НЭМС: имплантация и комбинирование с другими структурами.
8. Нанопроводники и нанотрубки: сенсоры, эмиттеры, транзисторы, переключатели, элементы памяти.
9. Методы моделирования свойств наноэлементов.
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. 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 нанокерамика.

### **Билет 6.**

1. Нелинейно-оптические эффекты в брэгговских волноводах
2. Поляритонные кристаллы.

### **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. Плазмон-поляритонные эффекты.

### **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 в ходе выполнения и защиты лабораторных работ по дисциплине, 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 пленок?
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 фемтонанофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие по направлениям подготовки бакалавриата 200400 (200200) "Опготехника", 200500 "Лазерная техника и лазерные технологии", 200700 (200600) "Фотоника и оптоинформатика" и специальностям 200200 "Опготехника" 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. Прокопьев, 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 наноустройств [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 (МОДУЛЯ)**

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 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника и программа подготовки Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии

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

Рецензент  
(представитель работодателя) \_\_\_\_\_  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Кафедра Келеско-2 ФГП "ГЛК Радар" Ямалов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 1 от 03.09.12 года

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

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника и программа подготовки Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии

Протокол № 1 от 03.09.12 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 \_\_\_\_\_