

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

« 31 » 08 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**НАНОФОТОНИКА**  
(наименование дисциплины)

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 промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
3	5/180	18		36	126	зачет с оценкой
Итого	5/180	18		36	126	зачет с оценкой

Владимир 2020

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель 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.

Пререквизиты дисциплины: «Микро- и наносистемы в технике и технологиях», «Технологии производства микро- и наносистем», «Кристаллография», «Преддипломная практика», выполнение научно-исследовательской и выпускной квалификационной работы.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции <sup>1</sup>	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ПК-1	частичное	<i>Знать: примеры постановки задач научных исследований в области лазерной техники и лазерных технологий и в смежных областях;</i> <i>Уметь: работать с источниками информации о программах финансовой поддержки научных исследований;</i> <i>Владеть:</i> <i>навыки составления описания планируемого научного исследования;</i>
ПК-3	частичное	<i>Знать: расчётные соотношения и методики расчёта при конструировании излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем;</i> <i>Узнать: определять набор необходимых требований и ограничений при конструировании излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем;</i> <i>Владеть: навыки выполнения расчётов для определения необходимых требований к параметрам гетероструктуры и конструкции излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем;</i>
ПК-6	частичное	<i>Знать: основные физические принципы функционирования лазерных элементов, изготовленных на основе наноструктурированных материалов;</i> <i>Уметь: разрабатывать элементы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов;</i> <i>Владеть: навыки конструирования активных элементов лазерных систем, выполненных из наноструктурированных материалов;</i>

<sup>1</sup> Полное или частичное освоение указанной компетенции

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем 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, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия <sup>2</sup>	Лабораторные работы	СРС		
1	Оптические свойства нанокompозитных материалов	3	1-4	4		4	20	4/50%	Рейтинг-контроль №1
2	Физико-химические свойства наночастиц	3	5-7	4		12	20	8/50%	
3	Наноплазмоника	3	9-10	2		2	20	2/50%	Рейтинг-контроль №2
4	Технологии производства наноструктурированных устройств	3	11-14	4		10	22	7/50%	
5	Физика приборов на основе наноматериалов	3	15-16	2		4	22	3/50%	Рейтинг-контроль №3
6	Разработка архитектур наноструктурированных устройств	3	17-18	2		4	22	3/50%	
Всего за 3 семестр:		3	1-18	18		36	126	27/50%	зачет с оценкой
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине		3	1-18	18		36	126	27/50%	зачет с оценкой

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1. Оптические свойства нанокompозитных материалов

Лекция 1. Наноматериалы и размерные эффекты

Лекция 2. Разнообразие типов наноматериалов и их свойств.

##### Раздел 2. Физико-химические свойства наночастиц

Лекция 3. Методы получения наноматериалов, наночастиц, гетероструктур, фотонных кристаллов

Лекция 4. Методы диагностики наноматериалов

##### Раздел 3. Наноплазмоника

Лекция 5. Взаимодействие с металлическими наноструктурами и наночастицами

##### Раздел 4. Технологии производства наноструктурированных устройств

Лекция 6. Технологии получения наноматериалов и наноструктур и устройств на их основе

Лекция 7. Разработка и проектирование элементов нанопотоники

##### Раздел 5. Физика приборов на основе наноматериалов

Лекция 8. Физические принципы работы и создание приборов на базе наноматериалов и композитных структур

##### Раздел 6. Разработка архитектур наноструктурированных устройств

Лекция 9. Моделирование свойств, физических явлений и технологических процессов в наноматериалах

<sup>2</sup> Распределение общего числа часов, указанных на практические занятия в УП, с учетом часов на КП/КР

## Содержание лабораторных занятий по дисциплине<sup>3</sup>

### Раздел 1. Оптические свойства нанокompозитных материалов

№ 1.1 Изучение спектров пропускания наноматериалов

№1.2 Исследование наночастиц методами атомно-силовой микроскопии (АСМ)

### Раздел 2. Физико-химические свойства наночастиц

№ 2.1 Получение коллоидных растворов наночастиц

№ 2.2 Методы осаждения наночастиц на подложки

№ 2.3 Исследование наночастиц методами растровой электронной микроскопии (РЭМ)

№ 2.4 Получение спектров комбинационного рассеяния (КРС) наночастиц и наноматериалов

№ 2.5 Изучение методов рентгеноструктурного анализа наноматериалов

### Раздел 3. Наноплазмоника

№ 3.1 Получение и исследование тонких металлических пленок

### Раздел 4. Технологии производства наноструктурированных устройств

№ 4.1 Исследование образцов нано- и микроустройств с помощью РЭМ

№ 4.2 Исследование линеек лазерных диодов на основе гетероструктур

№ 4.3 Фемтосекундное лазерное скрайбирование и резка материалов

№ 4.4 Фемтосекундное наноструктурирование материалов

### Раздел 5. Физика приборов на основе наноматериалов

№ 5.1 Исследование графеновых структур и возможности их использования

№ 5.2 Запись волноводных структур в оптически прозрачных материалах

### Раздел 6. Разработка архитектур наноструктурированных устройств

№ 6.1 Изучение методов зондовой литографии и формирование заданных наноструктур

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «НАНОФОТОНИКА» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (разделы №1-3);*
- *Групповая дискуссия (раздел №2);*
- *Анализ ситуаций (тема № 2.2);*
- *Применение имитационных моделей (тема № 4.1, №4.2);*

## 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, 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.

<sup>3</sup> Данный пункт вносится в рабочую программу только при наличии практических/лабораторных работ в учебном плане.

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 рассеяние 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. Нанокompозиты: 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 нанoeлектронных изделий, мультикатализаторы; 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 **зачета с оценкой**.

### Вопросы к зачету с оценкой.

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, нанослой.

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 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?

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
<b>Основная литература*</b>			
1 Введение в фемтонофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие / С. М. Аракелян, А. О. Кучерик, В. Г. Прокошев [и др.] ; под общ. ред. С. М. Аракеяна. - Москва : Логос, 2020. - 744 с. - ISBN 978-5-98704-812-2.	2019		<a href="https://znanium.com/catalog/product/1211606">https://znanium.com/catalog/product/1211606</a>
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: <a href="http://www.iprbookshop.ru/32823">http://www.iprbookshop.ru/32823</a> . — ЭБС «IPRbooks». — ISBN 978-5-7692-1310-6.	2013		<a href="https://znanium.com/catalog/document?id=185481">https://znanium.com/catalog/document?id=185481</a>
3 Пойзнер, Б. Н. Физические основы лазерной техники : учеб. пособие / Б.Н. Пойзнер. — 2-е изд., доп. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 160 с. — (Высшее образование: Магистратура). — <a href="http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_592d268c487362.64807642">www.dx.doi.org/10.12737/textbook_592d268c487362.64807642</a> . - ISBN 978-5-16-012817-7	2018		<a href="https://znanium.com/catalog/product/942818">https://znanium.com/catalog/product/942818</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
1. Физико-технические основы микро- и наноструктур : учебное пособие / составители И. Н. Еремина, А. Г. Саноян. — Самара : РЕАВИЗ, 2010. — 60 с. — ISBN 2227-8397.	2010		<a href="http://www.iprbookshop.ru/10148">http://www.iprbookshop.ru/10148</a>
2. Шандаров, С. М. Введение в квантовую и оптическую электронику : учебное пособие / С. М. Шандаров, А. И. Башкирова. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 98 с. — ISBN 2227-8397	2012		<a href="http://www.iprbookshop.ru/13922">http://www.iprbookshop.ru/13922</a>
3. Орликов, Л. Н. Основы технологии оптических материалов и изделий. Часть 1 : учебное пособие / Л. Н. Орликов. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 88 с. — ISBN 2227-8397	2012		<a href="http://www.iprbookshop.ru/13959">http://www.iprbookshop.ru/13959</a>

### 7.2. 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

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Практические/лабораторные работы проводятся в (511-3, 100-3, 1226-3, 106-3);

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения система математических и инженерных расчётов MATLAB.

Используемое оборудование: зондовая станция интеграл-спекта upright max, NTEGRA AURA, Фемтосекундная технологическая установка TETA-10

Рабочую программу составил директор института ПМФИ Хорьков К.С.  
(ФИО, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя) Ген. директор ООО «ВладИнТех» Осипов А.В.

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол №1 от 31.08. 2020 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(ФИО, подпись)

Аракелян С.М.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол №1 от 31.08. 2020 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

(ФИО, подпись)

С.М. Аракелян

## 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 \_\_\_\_\_