

**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)**

Институт прикладной математики, физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института



_____ К.С. Хорьков

« 30 » _____ августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ЛАЗЕРНЫЕ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ»**

направление подготовки / специальность

12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

направленность (профиль) подготовки

Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы

г. Владимир

2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: получение знаний о последних достижениях в области лазерных микро- и нанотехнологий, а также формирование у студентов научного мышления и современного видения естественнонаучной картины мира.

Задачи: изучение теоретических основ взаимодействия лазерного излучения с твердым телом, получение знаний о лазерных технологиях микрообработки материалов и изделий и методах лазерного синтеза наноструктурированных материалов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Лазерные микро- и нанотехнологии» относится к вариативным дисциплинам блока Б1 учебного плана.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен анализировать научно-техническую проблему, формулировать цель, задачи и план научного исследования в области лазерной техники и технологий	<p>ПК-1.1. Знает типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования, примеры постановки задач научных исследований в области лазерной техники и лазерных технологий и в смежных областях.</p> <p>ПК-1.2. Умеет определять актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области лазерной техники и лазерных технологий.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками составления описания планируемого научного исследования, использования междисциплинарного подхода при анализе научно-технической проблемы и планировании исследований в области лазерной техники и лазерных технологий.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования в области лазерных микро- и нанотехнологий; • примеры постановки задач научных исследований в области лазерных микро- и нанотехнологий. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • работать с источниками информации о программах финансовой поддержки научных исследований. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками составления описания планируемого научного исследования в области лазерных микро- и нанотехнологий. 	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>
ПК-4. Способен рассчитывать отдельные параметры волоконного лазера и входящих в него компонентов	<p>ПК-4.1. Знает области применения, принципы действия, компоненты и типичные выходные характеристики волоконных лазеров.</p> <p>ПК-4.2. Умеет анализировать возможные области применения волоконного лазера в зависимости от его характеристик.</p> <p>ПК-4.3. Владеет базовыми навыками расчёта параметров волоконного лазера и параметров, входящих в него компонентов, а также анализа конкурентоспособности разрабатываемых лазерных систем.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • области применения, принципы действия, компоненты и типичные выходные характеристики волоконных лазеров. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • анализировать возможные области применения волоконного лазера в зависимости от его характеристик; • выполнять расчёт параметров волоконных лазерных систем и входящих в них компонентов. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками анализа конкурентоспособности разрабатываемых лазерных систем; • навыками расчёта параметров 	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>

		волоконного лазера и параметров, входящих в него компонентов.	
ПК-6. Способен разрабатывать элементы (в том числе активные) лазерных систем на основе наноструктурированных материалов	<p>ПК-6.1. Знает основные физические принципы функционирования лазерных элементов, изготовленных на основе наноструктурированных материалов.</p> <p>ПК-6.2. Умеет разрабатывать элементы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов, анализировать свойства и характеристики наноструктурированных материалов, в том числе с использованием методов математического моделирования.</p> <p>ПК-6.3. Владеет навыками конструирования активных элементов лазерных систем, выполненных из наноструктурированных материалов, а также выполнения сравнительной оценки наноструктурированных материалов при планировании их использования в лазерных системах.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные физические принципы функционирования лазерных элементов, изготовленных на основе наноструктурированных материалов; • принципы технологии изготовления оптической керамики, в том числе лазерной нанокерамики. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разрабатывать элементы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов; • анализировать свойства и характеристики наноструктурированных материалов, в том числе с использованием методов математического моделирования. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками конструирования активных элементов лазерных систем, выполненных из наноструктурированных материалов; • навыками выполнения сравнительной оценки наноструктурированных материалов при планировании их использования в лазерных системах. 	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов.

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Физико-химические основы лазерных микро- и нанотехнологий	3	1-6	6	–	12	12	42	рейтинг-контроль №1
2	Лазерные микротехнологии	3	7-12	6	–	12	12	42	рейтинг-контроль №2
3	Лазерные нанотехнологии	3	13-18	6	–	12	12	42	рейтинг-контроль №3
Всего за 3 семестр:		–	–	18	–	36	36	126	зачет с оценкой
Наличие в дисциплине КП/КР		–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по дисциплине		–	–	18	–	36	36	126	зачет с оценкой

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Физико-химические основы лазерных микро- и нанотехнологий.

Тема 1.1. Взаимодействие лазерного излучения с металлами, полупроводниками и диэлектриками.

Тема 1.2. Лазерная твердофазная модификация поверхности.

Тема 1.3. Лазерно-индуцированная плазма: особенности свойств и поведения.

Раздел 2. Лазерные микротехнологии.

Тема 2.1. Лазерные технологии в процессах изготовления и настройки изделий микроэлектроники.

Тема 2.2. Лазерные методы формирования и обработки тонких пленок.

Тема 2.3. Лазерный синтез дифракционных оптических элементов поведения.

Раздел 3. Лазерные нанотехнологии.

Тема 3.1. Технологии сверху-вниз.

Тема 3.2. Технологии снизу-вверх.

Тема 3.3. Комбинированные технологии.

Содержание лабораторных занятий

Раздел 1. Физико-химические основы лазерных микро- и нанотехнологий.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 1 «Эффекты, возникающие при воздействии лазерного излучения на поверхность мишени»; лабораторная работа 2 «Эффекты, возникающие на поверхности мишени при воздействии коротких импульсов»; лабораторная работа 3 «Генерация и контроль распространения лазерной плазмы».

Раздел 2. Лазерные микротехнологии.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 4 «Фемтосекундное лазерное скрайбирование и резка материалов»; лабораторная работа 5 «Осаждение коллоидных структур в виде тонких пленок»; лабораторная работа 6 «Лазерное формирование структур в оптически прозрачных материалах».

Раздел 3. Лазерные нанотехнологии.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 7 «Формирование коллоидных систем»; лабораторная работа 8 «Осаждение продуктов лазерной абляции на холодную подложку-коллектор»; лабораторная работа 9 «Фемтосекундное лазерное наноструктурирование материалов».

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

5.1. Текущий контроль успеваемости

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №1

1. Физические процессы, определяющие перенос тепловой энергии в веществе.
2. Характерные особенности лазерного нагрева по сравнению с другими видами нагрева.
3. Специфика лазерного нагрева в области коротких и ультракоротких длительностей лазерных импульсов.
4. Распространение тепловой волны при лазерном облучении металлической мишени.
5. Механический механизм низкотемпературного разрушения хрупких материалов.
6. Диффузионная и кинетическая модели твердофазного разрушения материала.
7. Оптический пробой вблизи поверхности испарения в области фокусировки лазерного луча.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №2

1. Лазерная литография, как метод формирования топологии микросхем.
2. Лазерная корректировка топологии микросхем.
3. Отжиг приповерхностных слоев полупроводников импульсным и непрерывным лазерным излучением.
4. Лазерная ретушь фотошаблонов.
5. Физические процессы формирования топологии тонких пленок.
6. Оптические схемы для лазерной обработки тонких пленок.

7. Лазерный синтез дифракционных оптических элементов.
8. Лазерная очистка поверхности.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3

1. Изменение длины свободного пробега электронов в наноматериалах.
2. Условия и кинетика зародышеобразования для наносред.
3. Изменение энергии Гиббса при формировании наноматериалов по механизму «снизу-вверх».
4. Схемы лазерного получения наноматериалов по методу испарение-конденсация.
5. Лазерное восстановление металлов из электролитов.
6. Лазерное осаждение наночастиц из коллоидных растворов.
7. Лазерная репликация наноструктур.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – зачет с оценкой.

Примерный перечень вопросов

1. Взаимодействие лазерного излучения с металлами.
2. Взаимодействие лазерного излучения с полупроводниками и диэлектриками.
3. Лазерная твердофазная модификация поверхности.
4. Механизм формирования лазерно-индуцированной приповерхностной плазмы.
5. Лазерно-индуцированная плазма: свойства и поведение.
6. Применение лазеров в базовых технологиях микроэлектроники.
7. Формирование топологии микросхем с использованием лазерной литографии.
8. Лазерная настройка элементов микросхем.
9. Лазерная ретушь фотошаблонов и очистка поверхности.
10. Формирование топологии и обработка тонких пленок в микроэлектронике.
11. Лазерные технологии синтеза дифракционных оптических элементов.
12. Классификация и общие принципы методов лазерного синтеза наноструктур.
13. Способы получения лазерной нанокерамики
14. Способы нанесения тонких наноструктурированных пленок на подложки.
15. Механизм формирования волноводных структур в прозрачных средах.
16. Оптическая оксидная и фторидная нанокерамика.
17. Способы диагностики наноматериалов.
18. Коллоидные растворы. Оптические свойства сферических частиц.
19. Методы создания метаматериалов и гиперболических материалов.
20. Лазерная абляция и лазерное осаждение.
21. Способы формирования наночастиц заданного размера и их упорядоченных массивов.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Лазерные микро- и нанотехнологии» включает в себя следующие виды деятельности:

1) Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на лабораторных работах.

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

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

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в ходе выполнения и защиты лабораторных работ по дисциплине и на зачете.

Вопросы для самостоятельной работы студентов

- 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.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
Введение в фемтонанопластику: 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. Аракеляна. – Москва: Логос, 2020. – 744 с. – ISBN 978-5-98704-812-2. - Текст: электронный.	2020	https://znanium.com/catalog/product/1211606
Милуков С.П. Лазеры в микро- и наноэлектронике: учеб. пособие / С.П. Милуков, А.В. Саенко, Ю.В. Клунникова, А.В. Палий; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 111 с. – ISBN 978-5-9275-3083-0. – Текст: электронный.	2018	https://znanium.com/catalog/product/1039795
Дополнительная литература		
Лазеры: применения и приложения: учебное пособие / А.С. Борейшо, В.А. Борейшо, И.М. Евдокимов, С.В. Ивакин; под редакцией А. С. Борейшо. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 520 с. – ISBN 978-5-8114-2234-0	2016	https://e.lanbook.com/book/87570
Материаловедение и технологии электроники: учебное пособие [Электронный ресурс] / В. И. Капустин, А. С. Сигов. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 427 с.	2014	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=416461
Метаматериалы и структурно организованные среды для оптоэлектроники, СВЧ-техники и нанопластики [Электронный ресурс] / А.Ю. Авдеева [и др.]. – Электронные текстовые данные. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2013. – 368 с. – ISBN 978-5-7692-1310-6.	2013	https://znanium.com/catalog/document?id=185481

6.2. 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>.

6.3. Интернет-ресурсы

- 1) <https://elibrary.ru> – электронная библиотека научных публикаций
- 2) <http://laser-portal.ru> – портал о лазерах и лазерных технологиях
- 3) <https://topwar.ru> – новостной портал о новых разработках

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий. Лекционные аудитории оснащены меловой или маркерной доской, экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

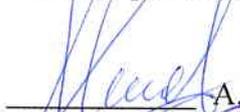
Используемое лицензионное программное обеспечение – система математических и инженерных расчётов MATLAB.

Лабораторные работы проводятся в научных лабораториях, где размещены: зондовая станция Интегра-Spectra, NTEGRA AURA, фемтосекундная технологическая установка TETA-10.

Рабочую программу составил доцент кафедры ФиПМ Абрамов Д.В. 

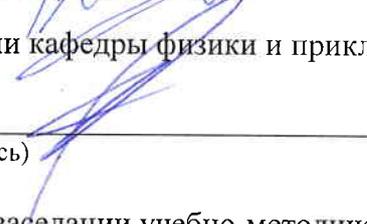
Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех»

 А.В. Осипов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры физики и прикладной математики
Протокол №1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой

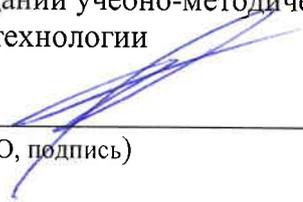
 С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол №1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии

 С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2022 года

Заведующий кафедрой

 С.М. Абрамов

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20____ / 20____ учебный года

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____
