

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)



_____ А.А.Панфилов
« 02 » 09 _____ 20 19 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЛАЗЕРНЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ

(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки Нанотехнологии и микросистемная техника

Уровень высшего образования бакалавриат

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)
7	4/144	18	-	36	90	зачет с оценкой
Итого	4/144	18	-	36	90	зачет с оценкой

Владимир 2019

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины заключается в изучении современных методов лазерного синтеза наноструктурированных материалов

Задачи:

- изучение теоретических основ взаимодействия лазерного излучения с твердым телом;
- получение знаний о методах лазерного синтеза наноструктурированных материалов с использованием различных лазерных методов;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Лазерные нанотехнологии» относится к вариативной части дисциплина по выбору.

Пререквизиты дисциплины: в процессе обучения обучающимся потребуются знания полученные ранее в рамках курсов: «Введение в нанотехнологии», «Физика конденсированного состояния вещества», «Уравнения математической физики», «Численные методы»

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ПК-1	частичное освоение	Знать: физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники. Уметь: решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники. Владеть: математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники.
ПК-2	частичное освоение	Знать: основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. Уметь: планировать и проводить исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. Владеть: навыками выбора оптимальных методов проведения исследований материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.
ПК-4	частичное освоение	Знать: базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов. Уметь: осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования. Владеть: навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа

№ 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	Лабораторные работы	СРС		
Раздел 1.	Взаимодействие лазерного излучения с объемными материалами.	7	1-6	6	-	12	30		Рейтинг-контроль-1
Тема 1.	Особенности лазерного воздействия на материалы: металлы, полупроводники, диэлектрики;	7		2	-	4	10	3/50%	
Тема 2.	Лазерная твердофазная модификация поверхности.	7		2	-	4	10	3/50%	
Тема 3.	Лазерно-индуцированная плазма: особенности свойств и поведения.	7		2	-	4	10	3/50%	
Раздел 2.	Лазерные методы получения наноматериалов	7	7-13	6	-	12	30		Рейтинг-контроль-2
Тема 1.	Технологии сверху-вниз;	7		2	-	4	10	2/50%	
Тема 2.	Технологии снизу-вверх	7		2	-	4	10	2/50%	
Тема 3.	Комбинированные методы получения	7		2	-	4	10	2/50%	
Раздел 3.	Взаимодействие электромагнитного излучения с наноструктурированными средами.	7	13-18	6	-	12	30		Рейтинг-контроль-3
Тема 1.	Рассеяние оптического излучения на малых частицах .	7		3	-	6	15	4/44%	
Тема 2.	Усиление излучения на нанобъектах.	7		3	-	6	15	4/44%	
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по дисциплине		7	18	18	-	36	90	23/42%	Зачет с оценкой

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Взаимодействие лазерного излучения с объемными материалами.

Тема 1. Особенности лазерного воздействия на материалы: металлы, полупроводники, диэлектрики;

Содержание темы. Особенности взаимодействия электромагнитного излучения с кристаллической решеткой различных веществ; возбуждение электронной и фононной решеток; тепловой и абляционный механизмы воздействия; влияние окружающей среды на развитие лазерно-индуцированных процессов;

Тема 2. Лазерная твердофазная модификация поверхности.

Содержание темы. Прямые структурированные поверхности материалов; лазерные термоупругие процессы; миграция дефектов; образование периодических структур;

Тема 3. Лазерно-индуцированная плазма: особенности свойств и поведения.

Содержание темы. Особенности генерации лазерно-индуцированной плазмы, критерий Дебая, понятие экранирования; ударные волны в плазме; термализация и стабилизация плазмы;

Раздел 2. Лазерные методы получения наноматериалов

Тема 1. Технологии сверху-вниз;

Содержание темы. Лазерно-индуцированное получение микро и наночастиц; особенности свойств; влияние метода получения на размер и форму поверхности;

Тема 2. Технологии снизу-вверх

Содержание темы. Лазерно-индуцированная самосборка атомарных и молекулярных кластеров, управление процессом сборки частиц в плазме за счет действия внешних полей; методы осаждения и коллекции наночастиц и структур.

Тема 3. Комбинированные методы получения

Содержание темы. Лазерно-плазменные технологии, лазерностимулированное электронно-лучевое осаждение частиц, лазерная активация подложек и лазерно-индуцированное химическое осаждение частиц;

Раздел 3. Взаимодействие электромагнитного излучения с наноструктурированными средами.

Тема 1. Рассеяние оптического излучения на малых частицах .

Содержание темы. Теории рассеяния: Рэлея и Ми; особенности взаимодействия излучения с нанообъектами в зависимости от длины волны излучения и размеров частиц

Тема 2 Усиление излучения на нанообъектах.

Содержание темы. Эффекты усиления ближнего поля, плазмонный резонанс, индуцированное просветление и поглощение среды.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Раздел 1. Взаимодействие лазерного излучения с объемными материалами.

Тема 1. Эффекты возникающие при воздействии лазерного излучения на поверхность мишени.

Тема 2. Эффекты возникающие на поверхности мишени при воздействии коротких импульсов.

Тема 3. Генерация и контроль распространения лазерной плазмы.

Раздел 2. Лазерные методы получения наноматериалов.

Тема 1. Осаждение продуктов лазерной абляции на холодную подложку коллектор.

Тема 2. Формирование коллоидных систем.

Тема 3. Осаждение коллоидных структур в виде тонких пленок.

Раздел 3. Взаимодействие электромагнитного излучения с наноструктурированными средами.

Тема 1. Исследование связи между оптическими и морфологическими свойств наноматериалов, на примере коллоидных систем.

Тема 2. Исследование связи между оптическими и электрофизическими свойствами наноматериалов, на примере тонких островковых пленок.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (тема №1.1- 3.2)*;
- *Групповая дискуссия (тема №1.1, 2.1, 3.1)*;

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

ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЗАЧЕТА

По лазерному синтезу наноматериалов:

1. Особенности взаимодействия лазерного излучения с веществом.
2. Лазерно-индуцированная миграция дефектов. Самоорганизация поверхности под действием лазерного излучения.
3. Лазерное плавление материалов. Гидродинамические процессы в ванне расплава.
4. Лазерная абляция. Режимы расширения плазменного факела.
5. Абляция в жидкость. Вынос материала в жидкость. Распространение ударной волны на границе мишень жидкость.
6. Понятие коллоидных систем. Устойчивость коллоидов.

7. Осаждение продуктов лазерной абляции. Химическая, физическая и механическая активация подложки.

По кластерам:

1. Эффекты самоорганизации поверхности под действием лазерного излучения.
2. Фрактальный кластеры. Особенности структуры. Понятие фрактальной размерности. Скейлинг-эффект.
3. Физические свойства наноматериалов. Размерные эффекты.
4. Физические свойства кластеров. Размерные эффекты вызванные связанными состояниями вещества.
5. Способы измерения фрактальной размерности.
6. Изменение электрических и оптических свойств кластерных материалов.
7. Фазовые переходы в кластерных материалах.

По углероду:

1. Аллотропные формы углерода.
2. Фазовые диаграммы углерода: Диаграмма Банди, альтернативная диаграмма Уайттакера.
3. Особенности фазовых переходов от темпов лазерного нагрева углеродных мишеней.
4. Лазерное воздействие на углеродные мишени в жидкости. Действие ударных волн.
5. Лазерное плавление углеродных мишеней в воздухе.
6. Лазерное напыление тонких углеродных пленок, аморфные и кристаллические пленки.
7. Газодинамический контроль распространения плазменного факела. Формирование периодического рельефа осажденного слоя.
8. Управление распространением факела за счет действия внешних полей.

ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ РЕЙТИНГ-КОНТРОЛЯ

Рейтинг-контроль №1

1. Какая модель лазерной абляции используется при температурах выше критической ?

Варианты ответа: а – тепловая модель лазерной абляции; б – гидродинамическая модель лазерной абляции; в – для таких температур не существует адекватной модели.

2. В чем заключается эффект «закалки» нанокластеров при лазерной абляции ?

Варианты ответа: а – столкновения частиц в паре, расширяющемся в вакуум, прекращаются на некоторой стадии процесса; б – формируемые нанокластеры приобретают сверхвысокую твердость; в – сформированные нанокластеры полностью осаждаются на исходную поверхность.

3. почему для переноса структуры мишени на подложку предпочтительно использование лазерного излучения с малой длительностью импульса ?

Варианты ответа: а – процесс переноса структуры происходит быстрее; б – при воздействии коротких лазерных импульсов формируется узконаправленный пучок продуктов лазерной абляции; в – при воздействии лазерного излучения с большой длительностью импульса происходит глубокое разрушение поверхности мишени и перенос ее структуры становится невозможен.

4. Рассчитайте изменение коэффициента диффузии для наночастиц с радиусом 100нм в глицерине и воде.

5. Во сколько раз коэффициент диффузии для частиц с радиусом 100нм будет меньше, чем для частиц с радиусом 10нм.

6. Как измениться коэффициент диффузии с увеличением температуры глицерина на 100К.

7. Во сколько раз диффузия в объеме жидкости будет выше, чем вблизи поверхности с размерностью $D=1.2$; $D=1.4$.

8. До какого максимального размера кластеры золота будут сохранять плавучесть в воде; в глицерине; в спирте.

Рейтинг-контроль №2

9. Какой из указанных методов моделирования используется в молекулярной нанотехнологии ?

Варианты ответа: а – метод молекулярной механики; б – метод Монте-Карло; в – оба вышеперечисленных метода.

10. Какой объект рассматривается в настоящее время в качестве квантовой точки ?

Варианты ответа: а – полая точка в эпитаксиальном слое; б – полупроводник, электрические характеристики которого зависят от его размера и формы; в – диэлектрик, электрические характеристики которого зависят от размера.

11. Что означает Стоксов сдвиг люминесценции квантовых точек при возбуждении УФ-излучением ?

Варианты ответа: а – смещение спектра люминесценции в сторону длинных волн; б – смещение спектра люминесценции в сторону коротких волн; в – при воздействии УФ-излучением Стоксов сдвиг не наблюдается.

12. Суть явления кулоновской блокады опирается на то, что заряд не может дробиться бесконечно. Какими дискретными порциями заряд переносится через барьер ?

Варианты ответа: а – порциями, кратными заряду электрона; б – порциями, кратными половине заряда электрона; в – порциями, кратными квадрату заряда электрона.

14. В качестве какого элемента используется квантовая точка в одноэлектронном транзисторе ?

Варианты ответа: а – стока; б – истока; в – затвора.

15. Какое условие является наиболее важным для формирования эффективного гетероперехода ?

Варианты ответа: а – наименьшая площадь соприкосновения; б – наиболее близкие значения постоянных решеток; в – равные массы веществ.

16. Как изменяется положение уровней, отвечающих возбужденным электронам, с уменьшением размера полупроводниковой частицы ?

Варианты ответа: а – уровни сдвигаются в область более низких энергий; б – уровни сдвигаются в область более высоких энергий; в – уровни остаются на прежнем уровне, так как слабо зависят от энергии.

Рейтинг-контроль №3

17. В чем заключается метод молекулярно-лучевой эпитаксии ?

Варианты ответа: а – выращивание кристаллических структур происходит с помощью пучков атомов или молекул, являющихся компонентами растущего соединения; б – изображение элемента или схемы выполняется в виде рисунка на металлической плёнке; в – испарение посредством лазерного излучения, с дальнейшим осаждением структур.

18. При каком условии осуществляется послойный рост тонких пленок по механизму Франка – ван дер Мерве ?

Варианты ответа: а – после завершения формирования двумерного слоя идет рост трехмерных островков; б – атомы пленки сильнее связаны с подложкой, чем друг с другом; в – атомы пленки сильнее связаны между собой, чем с подложкой.

19. Какой принцип заложен в основу работы сканирующего туннельного микроскопа?

Варианты ответа: а – металлическая игла подводится к образцу на расстояние нескольких ангстрем и сканирует поверхность; б – электронный пучок фокусируется на образце и сканирует поверхность; в – регистрируется оптическое изображение одной точки объекта, а полноценное изображение строится путем сканирования.

20. Согласно принципу плотной упаковки в молекулярных кристаллах два атома соседних молекул не могут находиться ближе некоторого расстояния. Чему равно данное расстояние?

Варианты ответа: а – сумме ионных радиусов; б – сумме ковалентных радиусов; в – сумме ван-дер-ваальсовых радиусов этих атомов.

21. Как зависит энергия связи от числа нуклонов? Ответ должен быть основан на предположении, что все нуклоны ядра равноценны и каждый взаимодействует только с близлежащими, как молекулы в капле жидкости.

Варианты ответа: а – энергия связи пропорциональна полному числу нуклонов; б – энергия связи обратно пропорциональна полному числу нуклонов; в – энергия связи имеет экспоненциальную зависимость от полного числа нуклонов.

ВОПРОСЫ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТА:

1. Принципы работы лазеров:

Принципы работы лазеров; Схема построения, источники накачки; Открытые резонаторы и модовый состав излучения; Распространение гауссовых пучков; Основные параметры лазерного излучения.

2. Схемы облучения:

Схемы облучения, используемые в современных лазерных технологиях; Линзовая и зеркальная фокусировка; Проекционная схема; Методы сканирования; Дифракционная оптика.

3. Оптические свойства материалов:

Отражательная и поглощательная способности, коэффициент поглощения света и методы их измерения; Идеальная и реальная оптические поверхности; Интерференционные явления; Роль температуры и фазовых переходов; Эффективная поглощательная способность.

4. Лазерный нагрев твердых тел:

Лазерный нагрев твердых тел; Классификация условий облучения; Одномерное и трехмерное приближения; Облучение движущимся лазерным лучом.

5. Поверхностные термоупругие деформации:

Поверхностные термоупругие деформации - теоретическая модель; Аппроксимация коротких и длинных импульсов; Изменение профиля облучаемой поверхности; необратимое разрушение материала.

6. Явления, инициируемые низкоинтенсивным излучением:

флюоресценция; генерация носителей заряда; электронная эмиссия; фото и термодесорбция; термодиффузия; поверхностные электромагнитные волны.

7. Лазерная абляция: поверхностное плавление; пороги испарения материала; развитое испарение; абляция без теплоотвода; удаление жидкой фазы факелом паров.

8. Лазерно-индуцированная плазма: первоначальная ионизация газовой среды в зоне лазерного воздействия; лазерный нагрев плазмы; электронная лавина; образование плазмы в испаряемом веществе; разлет плазмы в вакуум; лазерный пробой газов; оптические разряды; энергетический баланс.

9. Поверхностные химические реакция: фотолитические процессы; термохимические реакции; положительная и отрицательная обратная связь; моделирование; газотранспортное лимитирование; особенности импульсного облучения; реакции на границе твердое тело – жидкость.

10. Поверхностные структуры в зоне лазерного облучения: резонансные и нерезонансные поверхностные структуры; модели роста поверхностных структур;

11. Лазерные нано и микротехнологии: очистка поверхности; фотолитография; поверхностное легирование, отжиг и изменение фазового состава; структурирование, профилирование и полировка поверхности; лазерный прайтинг; микросверление; структурирование в объеме первоначально прозрачных материалов; химическое осаждение тонких пленок; лазерное напыление; лазерное прототипирование.

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	Наличие в электронной библиотеке

		библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	ВлГУ
Основная литература*			
1. 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 редакцией С. М. Аракелян. — Москва : Логос, 2015. — 744 с. — ISBN 978-5-98704-812-2.	2015		http://www.iprbo-okshop.ru/40504.html
2. Шахно, Е. А. Лазерные микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по практическим работам для студентов / Е. А. Шахно, А. А. Самохвалов. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. — 45 с. — ISBN 2227-8397.	2015		http://www.iprbo-okshop.ru/67248.html
3. Физико-химические основы нанотехнологий : методические указания / составители М. Е. Колпаков, Е. В. Петрова, А. Ф. Дресвянников. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. — 64 с. — ISBN 2227-8397.			http://www.iprbo-okshop.ru/63530.html
Дополнительная литература			
1. Вейко, В. П. Лазерные микро- и нанотехнологии в микроэлектронике : опорный конспект лекций / В. П. Вейко. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2011. — 141 с. — ISBN 2227-8397.	2011		http://www.iprbo-okshop.ru/67419.html
2. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие / Е. Д. Мишина, Н. Э. Шерстюк, А. А. Евдокимов [и др.] ; под редакцией А. С. Сигова. — 5-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 185 с. — ISBN 978-5-00101-473-7.	2015		http://www.iprbo-okshop.ru/88492.html

7.2. Периодические издания

1. Журнал «Российские нанотехнологии»
2. Журнал «Квантовая электроника»
3. Журнал «Нано- и микросистемная техника»

7.3. Интернет-ресурсы

1. <http://www.nanometer.ru/>
2. <https://www.ntmdt-si.ru/>
3. <https://www.planetaedu.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий *лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной.* Практические/лабораторные работы проводятся в компьютерных классах и учебно-научных лабораториях каф. ФиПМ

Перечень используемого оборудования:

- Фемтосекундный лазерный комплекс Ti:SP.
- Лазер твердотельный волоконный модель ЛС-02.
- Установка упорядоченного наноструктурирования объектов фемтосекундным излучением.
- Установка лазерная миллисекундная.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения:

- Текстовый редактор MS Word;
- Табличный процессор MS Excel;
- Система динамических презентаций MS Power Point;
- Система математических и инженерных расчётов MATLAB.

Рабочую программу составил доцент Кучерик А.О.
(ФИО, подпись)

Рецензент
(представитель работодателя) ООО «ВладИнТех», Ген. Директор Осипов А.В.
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФИПМ
Протокол №1 от 02 сентября 2019 года
Заведующий кафедрой _____ С.М. Аракелян
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической
комиссии направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
Протокол №1 от 02 сентября 2019 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 _____