

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  
 (Наименование института)

УТВЕРЖДАЮ:  
 Директор института \_\_\_\_\_ К.С. Хорьков  
 « 30 » \_\_\_\_\_ 08 \_\_\_\_\_ 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ЛАЗЕРНЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ**

(наименование дисциплины)

**направление подготовки / специальность**

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
 (код и наименование направления подготовки (специальности))

**направленность (профиль) подготовки**

Нанотехнологии и микросистемная техника  
 (направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир  
 Год 2021

## 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

Дисциплина «Лазерные нанотехнологии» относится к дисциплине по выбору.

## 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 проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	<p>ПК-1.1. Знает физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники.</p> <p>ПК-1.2. Умеет решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники.</p> <p>ПК-1.3. Владеет математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники.</p>	<p>Знать: физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники.</p> <p>Уметь: решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники.</p> <p>Владеть: математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники.</p>	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание
ПК-2. Способен проводить экспериментальное исследование по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	<p>ПК-2.1. Знает основные физико-химические модели в области нанотехнологий и микросистемной техники, методы проведения экспериментов и наблюдений, структуру, свойства и назначение наноматериалов и наноструктур.</p> <p>ПК-2.2. Умеет применять методы проведения экспериментов для анализа работы и синтеза микроэлектромеханических устройств, материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.</p> <p>ПК-2.3. Владеет навыками проведения экспериментов, наблюдений и измерений, анализа мультифизических взаимодействий, процессов и явлений в области нанотехнологий и микросистемной техники.</p>	<p><input type="checkbox"/> Знать: основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.</p> <p><input type="checkbox"/> Уметь: планировать и проводить исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.</p> <p><input type="checkbox"/> Владеть: навыками выбора оптимальных методов проведения исследований материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.</p>	Комплексный отчет по практическим и лабораторным занятиям.

ПК-4. Способен совершенствовать процессы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	ПК-4.1. Знает базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов. ПК-4.2. Умеет осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования. ПК-4.3. Владеет навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.	<input type="checkbox"/> Знать: базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов. <input type="checkbox"/> Уметь: осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования. <input type="checkbox"/> Владеть: навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.	Контрольные вопросы к текущей и промежуточной аттестации. Комплексный отчёт по практическим и лабораторным занятиям.
---	---	---	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 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	Взаимодействие лазерного излучения с объемными материалами.	7	1-6	6		12	-	30	рейтинг-контроль №1
1.1	Особенности лазерного воздействия на материалы: металлы, полупроводники, диэлектрики;	7		2		4	-	10	
1.2	Лазерная твердофазная модификация поверхности.	7		2		4	-	10	
1.3	Лазерно-индуцированная плазма: особенности свойств и поведения.	7		2		4	-	10	
2	Лазерные методы получения наноматериалов	7	7-13	6		12	-	30	рейтинг-контроль №2
2.1	Технологии сверху-вниз;	7		2		4	-	10	
2.2	Технологии снизу-вверх	7		2		4	-	10	
2.3	Комбинированные методы получения	7		2		4	-	10	
3	Взаимодействие электромагнитного излучения с наноструктурированными средами.	7	13-18	6		12	-	30	рейтинг-контроль №3
3.1	Рассеяние оптического излучения на малых частицах	7		3		6	-	15	

3.2	Усиление излучения на нанобъектах.	7	3	6	15		
Всего за <u>7</u> семестр:		18	18	36	-	90	зачет оценкой с
Наличие в дисциплине КП/КР							
Итого по дисциплине		18	18	36	-	90	зачет оценкой с

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: Рэля и Ми; особенности взаимодействия излучения с нанобъектами в зависимости от длины волны излучения и размеров частиц

Тема 2 Усиление излучения на нанобъектах.

**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 свойствами наноматериалов, на примере коллоидных систем.

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

## **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**

#### **Рейтинг-контроль №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 зачету :**

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.

#### **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 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 электронной библиотеке ВлГУ
<b>Основная литература</b>		
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	<a href="http://www.iprbookshop.ru/40504.html">http://www.iprbookshop.ru/40504.html</a>
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	<a href="http://www.iprbookshop.ru/67248.html">http://www.iprbookshop.ru/67248.html</a>
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.		<a href="http://www.iprbookshop.ru/63530.html">http://www.iprbookshop.ru/63530.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>		
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	<a href="http://www.iprbookshop.ru/67419.html">http://www.iprbookshop.ru/67419.html</a>
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	<a href="http://www.iprbookshop.ru/88492.html">http://www.iprbookshop.ru/88492.html</a>

### 6.2. Периодические издания

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



### 6.3. Интернет-ресурсы

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

### 7. 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 зав каф. ФИПМ С.М. Аракелян \_\_\_\_\_  
(должность, ФИО, подпись)

Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех» \_\_\_\_\_

А.В. Осипов

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФИПМ

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 28.03.01

Протокол №1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

С.М. Аракелян

(ФИО, должность, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

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 \_\_\_\_\_

### 6.3. Интернет-ресурсы

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

### 7. 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 зав каф. ФиПМ С.М. Аракелян \_\_\_\_\_  
(должность, ФИО, подпись)

Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех» \_\_\_\_\_ А.В. Осипов  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

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 28.03.01

Протокол №1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян  
(ФИО, должность, 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. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_