

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 дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 Дисциплины (модули) 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 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники. 	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание
ПК-2. Способен проводить экспериментальные исследования 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,</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - планировать и проводить исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками выбора оптимальных методов проведения исследований 	Комплексный отчет по практическим и лабораторным занятиям.

	наблюдений и измерений, анализа мультифизических взаимодействий, процессов и явлений в области нанотехнологий и микросистемной техники.	материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.	
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, технологического оборудования. ПК-4.3. Владеет навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.	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.	Контрольные вопросы к текущей и промежуточной аттестации. Комплексный отчет по практическим и лабораторным занятиям.

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 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	6	1-6	6		12	-	18	рейтинг-контроль №1
1.1	Особенности лазерного воздействия на материалы: металлы, полупроводники, диэлектрики	6		2		4	-	6	
1.2	Лазерная твердофазная модификация поверхности	6		2		4	-	6	
1.3	Лазерно-индуцированная плазма: особенности свойств и поведения	6		2		4	-	6	
2	Лазерные методы получения наноматериалов	6	7-13	6		12	-	18	рейтинг-контроль №2
2.1	Технологии сверху-вниз	6		2		4	-	6	
2.2	Технологии снизу-вверх	6		2		4	-	6	
2.3	Комбинированные методы получения	6		2		4	-	6	
3	Взаимодействие электромагнитного излучения с наноструктурированными	6	13-18	6		12	-	18	рейтинг-контроль №3

	средами							
3.1	Рассеяние оптического излучения на малых частицах	6	3	6	-	9		
3.2	Усиление излучения на нанобъектах	6	3	6	-	9		
Всего за 6 семестр:		18	18	36	-	54	зачет с оценкой	
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	-	
Итого по дисциплине		18	18	36	-	54	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: 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

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 100 нм в глицерине и воде.

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

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

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 тепловода; 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
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 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
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.iprbookshop.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.	2016	http://www.iprbookshop.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.iprbookshop.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.iprbookshop.ru/88492.html

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, лабораторных занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. 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 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

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