

Приложение № 3 к основной профессиональной образовательной программе высшего образования программа подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации 12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии» направленность «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»

**Федеральное агентство научных организаций**

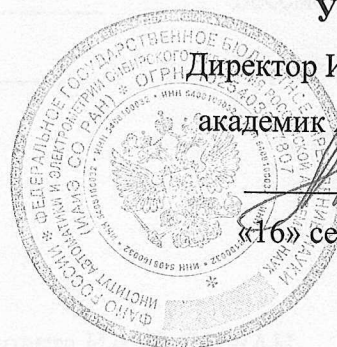
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор ИАиЭ СО РАН**

**академик А.М. Шалагин**

**«16» сентября 2014 г.**



**Рабочая программа дисциплины**

**«ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ МИКРО- И НАНООБРАБОТКИ  
(СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ)»**

Основная профессиональная образовательная программа высшего образования  
Программа подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению  
подготовки кадров высшей квалификации

**12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические  
системы и технологии»**  
направленность «**Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы**»

**Форма обучения - очная**

Новосибирск 2014 г.

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии (уровень подготовки кадров высшей квалификации) утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. №877

Составители рабочей программы

Зав. лаб., д.т.н.	_____	Полещук А.Г.
Зав. лаб., к.т.н.	_____	Бессмельцев В.П.
В.н.с., д.т.н.	_____	Корольков В.П.

Рабочая программа утверждена на заседании Ученого совета ИАиЭ СО РАН

«16» сентября 2014 г., протокол №14-08

Председатель Ученого совета, академик, профессор	_____	Шалагин А.М.
Секретарь Ученого совета, д.т.н.	_____	Михляев С.В.

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора Института, д.ф.-м.н.	_____	Бабин С.А.
Зав. лаб., д.т.н.,	_____	Лабусов В.А.

## **1 Цели и задачи освоения дисциплины**

Цели:

Дисциплина «Лазерные системы микро- и нанобработки (состояние, проблемы и перспективы)» (индекс по учебному плану Б1.В.ОД.1) является специальной дисциплиной подготовки аспирантов по направлению подготовки 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии (уровень подготовки кадров высшей квалификации) направленность «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» и имеет своей целью овладение основными понятиями, изучение основных конструкций и принципов работы лазерных систем микро- и нанобработки, технологий микро- и нанобработки, свойств материалов, применяемых для микро- и нанобработки, экспериментальными методами измерения характеристик изделий, полученных методами микро- и нанобработки, знакомство с современным состоянием данной области науки и техники.

Задачи:

1. Углубленное изучение теоретических вопросов проектирования лазерных систем микро- и нанобработки в соответствии с требованиями ФГОС ВО (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии».

2. Развитие практических навыков решения задач в области лазерных систем и технологий микро- и нанобработки, применения методов характеристики сформированных структур.

3. Формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах лазерной микротехнологии, о задачах применения, сформированных лазерным излучением структур, в науке, технике и биомедицине.

4. Формирование у аспирантов представления о теоретических основах взаимодействия лазерного излучения с веществом, а также об экспериментальных методах исследования результата воздействия лазерного излучения на вещество.

5. Ознакомление аспирантов с состоянием текущего научно-технического уровня, достижениями и перспективами в области лазерных систем микро- и нанобработки и связанных с ними лазерных технологий.

## **2 Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)**

Дисциплина «Лазерные системы микро- и нанобработки (состояние, проблемы и перспективы)» является обязательной, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии», направленность

«Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы». Индекс дисциплины - Б1.В.ОД.1. Курс «Лазерные системы микро- и нанообработки (состояние, проблемы и перспективы)» изучается на втором курсе аспирантуры (I и II семестры); изложение материала опирается также на знание аспирантами физики лазеров, основ физической и нелинейной оптики, механики, теплофизики, электроники и компьютерных систем; обеспечена логическая связь курса «Лазерные системы микро- и нанообработки (состояние, проблемы и перспективы)» с другими курсами.

Взаимосвязь курса с другими дисциплинами ООП способствует углубленной подготовке аспирантов к решению специальных практических профессиональных задач и формированию необходимых компетенций

### 3 Требования к уровню подготовки аспиранта, завершившего изучение данной дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Лазерные системы микро- и нанообработки (состояние, проблемы и перспективы)» направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
УК-2	способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Иметь целостное представление о значимости лазерных систем обработки материалов. Владеть современными подходами ведения научно-исследовательских работ в области лазерной обработки.
ОПК-3	владением методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере	Знать основные математические и физические методы, используемые в оптических спектральных системах. Знать: - принципы работы, точностные характеристики и быстродействие различных систем сканирования сфокусированного лазерного излучения; - принципы построения и характеристики объективов, используемых для формирования изображения и фокусировки лазерного излучения в системах микро- и нанообработки; - принципы работы и характеристики типичных опто-электронных блоков и компонентов, используемых в системах микро- и нанообработки;

		- принципы работы и характеристики основных приборов, используемых для исследования образцов после лазерной микро- и нанообработки;
ОПК-4	способностью планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты	Иметь практические навыки работы с лазерными системами микро- и нанообработки. Знать: - основные химико-физические процессы, связанные с воздействием лазерного излучения на вещество; - принципы работы основных лазерных систем микро- и нанообработки, а также фотолитографических систем; - основные физические процессы при воздействии лазерного излучения на вещество на микромасштабах.
ПК-2	способностью разрабатывать теоретические модели и выполнять численное моделирование оптических процессов в классических и квантовых системах	Знать: - теоретические методы оценки теплового воздействия лазерного излучения на металлы, полупроводники и диэлектрики; - характеристики и принципы работы лазеров, применяемых для микро- и нанообработки.
ПК-3	способностью к теоретическим и экспериментальным исследованиям в области лазерных систем и лазерных технологий, оптических методов измерения и контроля	Умение проводить экспериментальные исследования в области лазерной микро- и нанообработки. Знать: - теоретические основы воздействия лазерного излучения на вещество; - технику эксперимента и основы базовых лазерных технологий; - меры безопасной работы с технологическими лазерами и лазерными системами микро- и нанообработки. Уметь проводить измерения свойств, обработанных лазером образцов, на различных приборах.

#### 4 Объем дисциплины, содержание и структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5** зачетных единицы, **180** часов.

Тема	Лекции, (ч)	Самостоят. работа, (ч)	Формы контроля
<b>Год обучения 2</b>			
<b>Раздел 1. Основные понятия и экспериментальная техника лазерной микро- и нанообработки</b>	2	9	
<i>Введение в предмет. Цели и задачи курса, его общая структура. Определения: микрообработка и нанообработка. Краткая история лазерных</i>			

систем микро- и нанообработки во взаимосвязи с развитием лазеров, измерительной техники и компьютеров.			
<i>Лазерные источники излучения для промышленных применений.</i> Маломощные лазеры видимого диапазона, лазеры видимого диапазона 1-100Вт, мощные лазеры ближнего ИК 1-200вт, СО2 лазеры 1-300 вт.	2		
<i>Меры безопасности при работе с лазерами и измерение характеристик лазерного пучка</i> Классы технологических лазеров по степени их опасности. Факторы опасности, действующие при работе лазерных технологических систем. Основные требования по технике безопасной эксплуатации лазерных систем. Мероприятия изготовителя лазерной системы по обеспечению ее безопасной эксплуатации. Измерение мощности пучка, энергии импульсов, диаметра перетяжки сфокусированного пучка, фактора качества пучка M2, волнового фронта.	2		
<b>Раздел 2. Лазерные системы для записи изображений, микрообработки и 3D синтеза с разрешением до 100-200 лин/мм.</b>			
<i>Введение в лазерные технологии микрообработки и синтеза изображений и сложных объектов.</i> Основные оптические схемы для 2D формирования изображений и 3D лазерной микрообработки и послойного синтеза. Типы дефлекторов и оптических схем, особенности оптических трактов систем записи на плоское поле и криволинейную поверхность.	2	9	
<i>Электронные подсистемы управления лазерными системами вывода изображений и 3D синтеза.</i> Синхронизация перемещения и модуляции излучения.	2		
<i>Лазерные технологии записи изображений.</i> Лазерная абляция, лазерная термохимия, специальные лазерные технологии, лазерные технологии в печати. Основные характеристики и области применения.	2	10	
<i>Лазерные технологии микрообработки.</i> Резка, гравирование, микросверление.			
<b>Послойный лазерный синтез.</b> Лазерное формообразование удалением материала. Лазерный синтез методом послойного наращивания. Лазерная стереолитография.	2	2	Реферат
<i>Лазерные технологии нанесения защитных изображений и меток.</i> Защитная маркировка, защитное микроперфорирование, рефракционные изображения, синтезированные голограммы.	2	9	

<i>Перспективные направления развития лазерных технологий микрообработки и синтеза изображений и объектов.</i>			
<b>Раздел 3. Лазерные системы микро-нанообработки с разрешением до 2000 лин/мм.</b>			
<i>Типы систем двухкоординатного сканирования. Системы, работающие в декартовых координатах. Системы, работающие в полярных координатах. Сравнение характерных погрешностей и предельных скоростей записи.</i>	2	9	
<i>Интерференционные системы измерения перемещений. Типы интерферометров перемещения. Особенности интерферометров для 2D систем ху сканирования/</i>	2	10	
<i>Оптические энкодеры. Линейные и угловые энкодеры. Типы, погрешность, разрешение, юстировка. Лазерные технологии для синтеза оптических энкодеров.</i>	2	10	
<i>Системы автофокусировки для систем высокоразрешающей лазерной записи. Основные разновидности датчиков фокусировки. Основные разновидности исполнительных элементов. Влияние ошибки дефокусировки.</i>	2	9	Реферат
<i>Типичные погрешности записывающих систем. Ошибка Аббе. Ошибки дискретизации. Флуктуации и ошибка выбора уровня мощности пучка. Влияние окружающей среды.</i>	2	9	
<i>Лазерные технологии для изготовления дифракционных оптических элементов и синтезированных голограмм. Технологии записи бинарных амплитудных и фазовых ДОО. Технологии записи полутонных фотошаблонов.</i>	2	9	
<b>Раздел 4. Лазерные технологии в производстве микроэлектроники, микрофлюидики и микрооптике</b>			Реферат
<i>Теоретические основы воздействия лазерного излучения на вещество. Типы воздействия лазерного излучения на вещество: фотохимическое воздействие, термохимическое воздействие, плавление и кипение, абляция. Основные теоретические модели, описывающие воздействие лазерного излучения. Программные пакеты, используемые для моделирования воздействие лазерного излучения на материалы.</i>	2	9	
<i>Лазерные технологии в производстве микроэлектроники.</i>	2	7	
<i>3D лазерные технологии в производстве микрофлюидики и микромеханики</i>	2		

3D лазерные технологии в производстве микрооптики и многоуровневых фазовых ДОЭ	2		
Форматы данных и их подготовка для лазерных систем микро- и нанообработки	2		
Тенденции развития методов прямой лазерной записи для изготовления наноструктур	2		
<i>Формирование импульсным лазерным излучением самоиндуцированных периодических структур.</i> Формирование ЛИППС на поверхности металлов и полупроводников. Формирование ЛИППС в объеме диэлектриков. Влияние поляризации, скорости сканирования и плотности энергии лазерного пучка на формирование ЛИППС.	2		
<b>Раздел 5. Методы характеристики результатов лазерной микро- и нанообработки</b>	2		
<i>Оптические методы.</i> Оптическая микроскопия. Ближнепольная оптическая микроскопия. Оптические профилометры. Дифрактометрия, Спектральная рефлектометрия. Микроэллипсометры. Рамановские микроскопы.	2	2	
<i>Неоптические методы.</i> Контактные профилометры. Электронная микроскопия. Атомно-силовые и туннельные микроскопы.	2	9	

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы занятий в сочетании с внеаудиторной работой. Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет не менее 30% аудиторных занятий.

В рамках изучения данной дисциплины реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе традиционных образовательных технологий, активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

В рамках изучения данной дисциплины используются: мультимедийные образовательные технологии: интерактивные лекции (презентации);

## **5 Самостоятельная работа аспирантов**

Основной формой деятельности аспирантов по дисциплине является самостоятельная проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение, с помощью основной и дополнительной литературы с привлечением компьютерных средств, а также индивидуальные занятия с преподавателем, направленные на практические исследования по представленным темам. Компьютерные демонстрации по лазерным технологиям,



лабораторные демонстрации лазерных систем микро- и нанообработки, обязательное участие в заседаниях еженедельного семинара Учебно-научного центра «Квантовая оптика».

Вопросы для самостоятельного изучения:

### **Раздел 1. Основные понятия и экспериментальная техника лазерной микро- и нанообработки**

1. Изучить принципы работы и сравнить основные лазерные источники излучения для промышленных применений (лазеры видимого диапазона, мощные лазеры ближнего ИК, CO<sub>2</sub> лазеры), их преимущества и недостатки.
2. Изучить основные требования по безопасной эксплуатации лазерных систем.
2. Изучить методы и приборы для измерения мощности пучка и энергии импульсов,
3. Изучить методы и приборы для измерения диаметра перетяжки сфокусированного пучка и фактора качества пучка M<sub>2</sub> на их основе.
4. Изучить методы контроля волнового фронта лазерного излучения.

### **Раздел 4. Лазерные технологии в производстве микроэлектроники, микрофлюидики и микрооптике**

Сравнить параметры характерные размеры микроэлементов в производстве микроэлектроники, микрофлюидики и микрооптике, сформулировать основные особенности лазерных систем микрообработки, требуемые для их реализации.

### **Раздел 5. Методы характеристики результатов лазерной микро- и нанообработки**

1. Сравнить предельную разрешающую способность по горизонтали и по вертикали для оптических и неоптических профилометров. Сравнить их быстродействие.

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **Основная литература:**

1. 3-D лазерные информационные технологии. Ответственный редактор Твердохлеб П.Е. - ЗАО ИПП "ОФСЕТ" Новосибирск, 2003. - 550 с.
2. Шандыбина, Г.Д. Информационные лазерные технологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Д. Шандыбина, В.А. Парфенов. — Электрон. дан. — Спб. : НИУ ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики), 2008. — 107 с.
3. Вейко, В.П. Введение в лазерные технологии [Электронный ресурс] : / В.П. Вейко, А.А. Петров. — Электрон. дан. — Спб. : НИУ ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики), 2009. — 143 с.

4. Богданов, А.В. Теоретические основы лазерной обработки [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.В. Богданов, А.И. Мисюрлов, Н.А. Смирнова. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2006. — 23 с.
5. Кульчин Ю.Н. Современная оптика и фотоника нано- и микросистем. – Физматлит, 2015.

#### **Дополнительная литература:**

1. Трехмерная лазерная модификация объемных светочувствительных материалов // Ответственный редактор Твердохлеб П.Е. Серия "Интеграционные проекты СО РАН" / - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2012. - 450 с.
2. Серебряков, В.А. Лазерные технологии в медицине [Электронный ресурс] : . — Электрон. дан. — Спб. : НИУ ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики), 2009. — 266 с.
3. Горелов, А.М. Аналоговые лазерные системы обработки информации. Ч.1. Фурье-процессоры [Электронный ресурс]: А.М. Горелов, В.С. Щетинкин. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2011. — 82 с.

#### **Методическая литература:**

1. Вейко, В.П. Взаимодействие лазерного излучения с веществом, силовая оптика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.П. Вейко, М.Н. Либенсон, Г.Г. Червяков [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2008. — 307 с.

#### **Научные статьи:**

1. Оптимизация режимов лазерной микрообработки: обзор / В. П. Бессмельцев, Е. Д. Булушев // Автометрия. - 2014. - Т. 50, № 6. - С. 3-21.
2. Бессмельцев В. П., Голошевский Н. В., Смирнов К. К., Аппаратно-программные средства динамической коррекции для управления лазерными системами микрообработки на основе комплементарных сканеров, Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2009. - № 3. - С. 48-52.
3. П.Тодуа. Нанометрология и стандартизация в нанотехнологиях, РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ, ТОМ 2, №1–2, с. 61-69, 2007.

4. В.П. Коронкевич, А.Г. Полещук, Е.Г. Чурин, Ю.И. Юрлов. Лазерная термохимическая технология синтеза дифракционных оптических элементов в плёнках хрома // Квантовая электроника. – 1985. – № 4. – С. 755.
5. Полещук, А.Г. Погрешности термохимического метода записи микроизображений в плёнках хрома //Автометрия. – 2003. – Т. 39, № 6. – С. 39-45.
6. А.Г. Полещук, В.П. Корольков, В.В. Черкашин, С. Райхельт, Дж. Бёдж, Методы минимизации ошибок прямой лазерной записи дифракционных оптических элементов // Автометрия. – 2003. – Т. 38, № 3. – С. 3-19.

**Интернет-ресурсы:**

1. Ресурсы Wikipedia (Лазер):

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80>

2. Ресурсы Wikipedia (Применение лазеров):

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2)

3. 1. Электронный справочник по "Опике когерентного излучения" (с разделом "4.2. Цифровая голография") <http://optics.sinp.msu.ru/co/toc.html>

4. Ресурсы Энциклопедия фотоники:

<https://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>

5. Краткий мобильный справочник по оптике для смартфонов с ОС Android

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ccwilcox.spiegeolite>

**Веб-сайты с электронными ресурсами:**

1. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – URL:

<http://www.elibrary.ru>

2. ibooks.ru [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – URL: <http://ibooks.ru>

3. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – URL:

<http://e.lanbook.com/>

4. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. – URL:

<http://scool-collection.edu.ru>

5. Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. – URL:

<http://window.edu.ru>

6. Znanium.com [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – URL:

<http://znanium.com>

7. Антиплагиат [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL:

<http://www.antiplagiat.ru/index.aspx>

8. Электронная библиотека СГУ <http://library.sgu.ru/>

9. Электронная библиотека физико-технического института им. А.И. Иоффе. Санк-Петербург  
[http://www.rasl.ru/b\\_resours/set/fismat\\_set/ftispb.php](http://www.rasl.ru/b_resours/set/fismat_set/ftispb.php)

10. Электронная полнотекстовая библиотека Ихтика [http://ihtik.lib.ru/2011.08\\_ihtik\\_nauka-tehnika/](http://ihtik.lib.ru/2011.08_ihtik_nauka-tehnika/)

#### **Программное обеспечение:**

OS MS Windows, MS Office 2010, Adobe Reader

### **7 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Обучение аспирантов происходит в Учебном центре Института автоматки и электрометрии СО РАН, созданном совместно Новосибирским университетом. Учебный центр состоит из трех классов, в которых проходят лекционные занятия, а также классы доступны более 30 часов в неделю для самостоятельной подготовки аспирантов. Классы укомплектованы 20 компьютерами, оснащены оборудованием для проведения практических и лабораторных занятий и оборудован системой вентиляции. В классах имеется демонстрационное оборудование (мультимедиа- и оверхед-проекторы) и звуковая система для проведения видеоконференций.

### **8 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

#### **Формы текущего контроля работы аспирантов**

Формами текущего контроля работы аспирантов по дисциплине «Лазерные системы микро- и нанообработки (состояние, проблемы и перспективы)» являются: зачет по вопросам к самостоятельной работе, реферат.

#### **Порядок осуществления текущего контроля**

Текущий контроль выполнения заданий осуществляется регулярно, начиная с 3 недели семестра. Контроль и оценивание выполнения рефератов осуществляется по завершению тем.

#### **Промежуточная аттестация по дисциплине**

Промежуточная аттестация не предусмотрена

#### **Темы рефератов:**

1. Лазерные источники излучения для промышленных применений.
2. Лазерные технологии микрообработки. Резка, гравирование, микро сверление.
3. Лазерные системы для записи изображений с разрешением до 100-200 лин/мм.
4. Послойный 3D лазерный синтез.
5. Лазерные системы микро- нанообработки с разрешением до 2000 лин/мм.

6. Лазерные технологии в производстве микроэлектроники,
7. Лазерные технологии в производстве микрофлюидики и микрооптике
8. Методы характеристики результатов лазерной микро- и нанобработки

### Критерии оценивания.

<i><b>Зачтено</b></i>	<i><b>Не зачтено</b></i>
<p>Успешное и системное владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыки работы с лазерными системами микро- и нанобработки.</li> <li>- проведения измерений свойств, обработанных лазером образцов, на различных приборах.</li> </ul> <p>Сформированные и системные знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• теоретические основы воздействия лазерного излучения на вещество;</li> <li>• техника эксперимента и основы базовых лазерных технологий;</li> <li>• основные химико-физические процессы, связанные с воздействием лазерного излучения на вещество;</li> <li>• принципы работы основных лазерных систем микро- и нанобработки, а также фотолитографических систем;</li> <li>• основные физические процессы при воздействии лазерного излучения на вещество на микромасштабах,</li> <li>• теоретические методы оценки теплового воздействия лазерного излучения на металлы, полупроводники и диэлектрики;</li> <li>• характеристики и принципы работы лазеров, применяемых для микро- и нанобработки;</li> <li>• принципы работы, точностные характеристики и быстродействие различных систем сканирования сфокусированного лазерного излучения;</li> <li>• принципы построения и характеристики объективов, используемых для формирования изображения и фокусировки лазерного излучения в системах микро- и нанобработки;</li> <li>• принципы работы и характеристики типичных опто-электронных блоков и компонентов, используемых в системах микро- и нанобработки;</li> <li>• принципы работы и характеристики основных приборов, используемых для исследования образцов после лазерной микро- и нанобработки.</li> </ul>	<p>Фрагментарное владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыки работы с лазерными системами микро- и нанобработки.</li> <li>- проведения измерений свойств, обработанных лазером образцов, на различных приборах.</li> </ul> <p>Фрагментарные знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• теоретические основы воздействия лазерного излучения на вещество;</li> <li>• техника эксперимента и основы базовых лазерных технологий;</li> <li>• основные химико-физические процессы, связанные с воздействием лазерного излучения на вещество;</li> <li>• принципы работы основных лазерных систем микро- и нанобработки, а также фотолитографических систем;</li> <li>• основные физические процессы при воздействии лазерного излучения на вещество на микромасштабах,</li> <li>• теоретические методы оценки теплового воздействия лазерного излучения на металлы, полупроводники и диэлектрики;</li> <li>• характеристики и принципы работы лазеров, применяемых для микро- и нанобработки;</li> <li>• принципы работы, точностные характеристики и быстродействие различных систем сканирования сфокусированного лазерного излучения;</li> <li>• принципы построения и характеристики объективов, используемых для формирования изображения и фокусировки лазерного излучения в системах микро- и нанобработки;</li> <li>• принципы работы и характеристики типичных опто-электронных блоков и компонентов, используемых в системах микро- и нанобработки.</li> </ul>
	<p>Отметка «не зачтено» ставится аспиранту, не выполнившему в полном объеме все текущие задания или допустившие существенные неточности при ответе на вопросы, не сумевшие обосновать ответы в соответствии с ниже приведенными критериями оценивания результатов обучения.</p> <p>Фрагментарные знания:</p>

<p>Отметка «зачтено» ставится аспирантам, успешно выполнившим в процессе обучения все текущие задания.</p> <p>Сформированные знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современных способов использования лазерных систем обработки;</li> <li>- основных физических положений лазерной физики, оптических методов микро- и нанообработки;</li> <li>- физических и математических основ теоретического и численного моделирования лазерных процессов;</li> <li>- физических основ функционирования оптических систем и электронных систем регистрации оптических сигналов;</li> <li>- методов и средств экспериментальных оптических исследований в области микро- и нанообработки.</li> </ul> <p>Сформированные умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять и систематизировать основные идеи в научной литературе;</li> <li>- применения математического аппарата, компьютерных программных средств для теоретического и численного моделирования в лазерных системах обработки;</li> <li>- применять теоретические положения физических процессов в оптических системах в экспериментальных исследованиях;</li> <li>- применять оптические системы, аналоговые и цифровые системы записи и обработки сигналов и изображений в экспериментальных исследованиях;</li> <li>- анализировать варианты решения исследовательских задач.</li> </ul> <p>Успешное и системное владение и применение навыков: сбора, обработки и анализа информации, ориентации в источниках и научной литературе, логики и терминологии научного исследования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбора методов решения теоретических задач, сбора, обработки, анализа и систематизации знаний о физических явлениях в области лазерной физики, методов лазерной обработки материалов;</li> <li>- постановки и проведения экспериментальных исследований с использованием оптических, аналоговых и цифровых систем.</li> </ul>	<p>современных способов использования лазерных систем обработки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основных физических положений лазерной физики, оптических методов микро- и нанообработки;</li> <li>- физических и математических основ теоретического и численного моделирования лазерных процессов;</li> <li>- физических основ функционирования оптических систем и электронных систем регистрации оптических сигналов;</li> <li>- методов и средств экспериментальных оптических исследований в области микро- и нанообработки.</li> </ul> <p>Фрагментарные умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять и систематизировать основные идеи в научной литературе;</li> <li>- применения математического аппарата, компьютерных программных средств для теоретического и численного моделирования в лазерных системах обработки;</li> <li>- применять теоретические положения физических процессов в оптических системах в экспериментальных исследованиях;</li> <li>- применять оптические системы, аналоговые и цифровые системы записи и обработки сигналов и изображений в экспериментальных исследованиях;</li> <li>- анализировать варианты решения исследовательских задач.</li> </ul> <p>Фрагментарное владение и применение навыков: сбора, обработки и анализа информации, ориентации в источниках и научной литературе, логики и терминологии научного исследования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбора методов решения теоретических задач, сбора, обработки, анализа и систематизации знаний о физических явлениях в области лазерной физики, методов лазерной обработки материалов;</li> <li>- постановки и проведения экспериментальных исследований с использованием оптических, аналоговых и цифровых систем.</li> </ul>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------