

Федеральное агентство научных организаций

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



Рабочая программа дисциплины

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

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

03.06.01 «Физика и астрономия» направленность «Оптика»

Форма обучения - очная

Новосибирск 2014 г.

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Цели:

Дисциплина «Лазерные системы микро- и нанобработки (состояние, проблемы и перспективы)» модуля оптика (индекс по учебному плану Б1.В.ДВ.1) является дисциплиной по выбору подготовки аспирантов по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) направленность «Оптика» 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 «Физика и астрономия».

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)» входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к части Дисциплины по выбору ООП по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность «Оптика». Индекс дисциплины - Б1.В.ДВ.1. Курс «Лазерные системы микро- и нанобработки (состояние, проблемы и перспективы)» изучается на первом 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.
ПК-2	способность 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	способность 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 1 зачетных единицы, 36 часов.

Тема	Лекции, (ч)	Самостоят. работа, (ч)	Формы контроля
Год обучения 2			
Раздел 1. Основные понятия и экспериментальная техника лазерной микро- и нанообработки			
<i>Введение в предмет. Цели и задачи курса, его общая структура.</i> Определения: микрообработка и нанообработка. Краткая история лазерных систем микро- и нанообработки во взаимосвязи с развитием лазеров, измерительной техники и компьютеров.	2	9	
<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		
Раздел 2. Лазерные системы для записи изображений, микрообработки и 3D синтеза с разрешением до 100-200 лин/мм.			
<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. Резка, гравирование, микросверление.</i>			
Послойный лазерный синтез. Лазерное формообразование удалением материала. Лазерный синтез методом послойного наращивания. Лазерная стереолитография.	2	2	
<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>			
Раздел 3. Лазерные системы микро-нанообработки с разрешением до 2000 лин/мм.			
<i>Типы систем двухкоординатного сканирования.</i> Системы, работающие в декартовых координатах. Системы, работающие в полярных координатах. Сравнение характерных погрешностей и предельных скоростей записи.	2	9	
<i>Интерференционные системы измерения перемещений.</i> Типы интерферометров перемещения. Особенности интерферометров для 2D систем ху сканирования/	2	10	
<i>Оптические энкодеры.</i> Линейные и угловые энкодеры. Типы, погрешность, разрешение, юстировка. Лазерные технологии для синтеза оптических энкодеров.	2	10	
<i>Системы автофокусировки для систем высокоразрешающей лазерной записи.</i> Основные разновидности датчиков фокусировки. Основные разновидности исполнительных элементов. Влияние ошибки дефокусировки.	2	9	
<i>Типичные погрешности записывающих систем.</i> Ошибка Аббе. Ошибки дискретизации. Флуктуации и ошибка выбора уровня мощности пучка. Влияние окружающей среды.	2	9	
<i>Лазерные технологии для изготовления дифракционных оптических элементов и синтезированных голограмм.</i> Технологии записи бинарных амплитудных и фазовых ДОО. Технологии записи полутонных фотошаблонов.	2	9	
Раздел 4. Лазерные технологии в производстве микроэлектроники, микрофлюидики и микрооптике			

<i>Теоретические основы воздействия лазерного излучения на вещество.</i> 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 воздействия лазерного излучения на материалы.	2	9	
Лазерные технологии в производстве микроэлектроники.	2	7	
3D лазерные технологии в производстве микрофлюидики и микромеханики	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		
Раздел 5. Методы характеристики результатов лазерной микро- и нанообработки	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 компетентностного 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 нанобработки, 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 нанобработки

1. Изучить принципы работы и сравнить основные лазерные источники излучения для промышленных применений (лазеры видимого диапазона, мощные лазеры ближнего ИК, CO₂ 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 M² 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 нанобработки, требуемые для их реализации.

Раздел 5. Раздел 5. Методы характеристики результатов лазерной микро- и нанобработки

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. Мисюров, 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

3. 1. Электронный справочник по "Оптике 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>

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Обучение аспирантов происходит в Учебном центре Института автоматизации 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.

Программное обеспечение:

OS MS Windows, MS Office 2010, Adobe Reader

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

Формы текущего контроля работы аспирантов

Текущий контроль не предусмотрен.

Промежуточная аттестация по дисциплине

Промежуточная аттестация не предусмотрена