

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФНИЦ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА» РАН)

Принято на Ученом совете
ИПЛИТ РАН - филиала
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Протокол № 4/2020 от 24 сентября 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН



О.А.Алексеева

«24» сентября 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

**«ОСНОВЫ ЛАЗЕРНЫХ
АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

направление подготовки **11.06.01** Электроника, радиотехника и системы связи
направленность Квантовая электроника (**05.27.03**)

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Григорьев Алексеев

Шатура
2020

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Основы лазерных атомно-молекулярных технологий» ставит своей целью приобретение теоретических и практических знаний и навыков, необходимых для исследования физико-химических процессов, индуцируемых лазерным излучением в различных материалах.

Задачами данного курса являются:

- формирование представления об основах современных лазерных микро– и нанотехнологий, связанных с лазерной модификацией различных материалов или с сопровождающимися физико-химическими процессами;
- изучение основных характеристик лазерного излучения, его свойств и достигнутых предельных значений;
- формирование представлений об иерархии физико-химических процессов, индуцируемых лазерным излучением в различных материалах, на шкале плотности мощности;
- изучение физики процессов поглощения энергии лазерного излучения атомами, молекулами, наночастицами и макроскопическими объектами;
- изучение процессов распространения лазерного излучения в оптически неоднородных средах, релаксации и распределения энергии лазерного излучения в различных материалах;
- изучение механизмов и основных характеристик лазерно-индуцированных химических процессов в атомных и молекулярных системах (лазерная термо- и фотохимия);
- изучение и практическое использование методов и приборов диагностики термического и фотохимического воздействия лазерного излучения на различные материалы.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Основы лазерных атомно-молекулярных технологий» (индекс Б1.В.ДВ.1.2) относится к вариативной части программы подготовки аспирантов по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность 05.27.03 Квантовая электроника).

Дисциплина после выбора должна быть освоена аспирантом обязательно (но не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане).

3. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

4. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ (если есть)

Второй год, третий-четвертый семестр обучения.

5. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ

Вариативная часть, в т.ч.:	<u>3</u> зач. ед.
Лекции	<u>12</u> часов
Семинары и практические занятия	<u>12</u> часов
Лабораторные работы	<u>нет</u> часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	<u>нет</u> часов
Самостоятельные занятия	<u>80</u> часов
Зачет	<u>4</u> часа
ВСЕГО	3 зач. ед., 108 часов

6. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Основы лазерных атомно-молекулярных технологий» направлено на формирование следующих универсальных (УК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций аспиранта:

УК-1 (способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях);

ОПК-1 (владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности);

ОПК-2 (владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий);

ПК-1 (способность проводить научные исследования и технические разработки лазеров, приборов, систем и комплексов с использованием лазерного излучения, материалов, элементно-узловой базы, технологий и специального оборудования с целью развития лазерной техники и лазерных информационных и фотонных технологий и их применения в различных отраслях науки, технике, медицине).

7. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины «Основы лазерных атомно-молекулярных технологий» обучающийся должен:

1. Знать:

- основы линейного и нелинейного поглощения лазерного излучения в различных средах;
- процессы обмена и релаксация энергии атомами, молекулами и наночастицами;
- основы лазерной химии, неравновесных лазерно-индуцированных фото- и термохимических процессов;
- принципы селективного воздействия лазерного излучения на атомы и молекулы, основы лазерного разделения изотопов;
- физико-химические микро- и макроскопические процессы на поверхности и в объеме твердых материалов, индуцируемые лазерным излучением;
- основы лазерного формирования поверхностных и объемных микроструктур;
- основы лазерного синтеза и функционализации наночастиц.

2. Уметь:

- осуществлять сбор, обработку и систематизацию научной информации по заданному направлению профессиональной деятельности, применять для этого современные информационные технологии;
- работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и экспериментальных результатов;
- оценивать возможности и целесообразность применения различных методов электронно-микроскопического анализа при исследовании структуры объектов;
- подготавливать образцы для исследования;
- проводить эксперимент;
- определять пробную модель структуры;
- уточнять модель структуры;
- интерпретировать полученные результаты и оформлять их в виде научных публикаций или докладов на конференциях;

- критически анализировать накопленный опыт и совершенствовать свои подходы к изучению строения вещества;
- производить численные оценки динамики световых и температурных полей, формируемых в оптически неоднородных материалах;
- оценивать вклад различных физико-химических процессов, индуцируемых лазерным излучением в зависимости от оптических и теплофизических свойств материала и параметров излучения;
- находить решения фундаментальных, прикладных и технологических задач, связанных с применением лазеров.

3. Владеть:

- методами расчета распределения энергии лазерного излучения в объеме материала с учетом изменяющихся оптических и теплофизических параметров и протекающих физико-химических процессов;
- методами дистанционного контроля модификации материалов в режиме реального времени;
- навыками планирования и проведения физических экспериментов в области лазерных технологий.

8. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

(заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1	<p>З1 (УК-1) Знать методы критического анализа и оценки современных достижений в выбранной области квантовой электроники, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У1 (УК-1) Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>
ОПК-1	<p>З1 (ОПК-1) Знать методики анализа современных проблем, способы и методы решения теоретических и экспериментальных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У1 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять расчетно-теоретические методы для разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У2 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять экспериментальные методы исследования для решения научных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>В1 (ОПК-1) Владеть современными методами теоретических и экспериментальных исследований для решения задач в выбранной области профессиональной деятельности.</p>
ОПК-2	<p>З1 (ОПК-2) Знать современные информационные технологии, программные продукты и ресурсы сети Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>У1 (ОПК-2) Уметь использовать профессионально-профилированные знания в области современных информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач</p>

	<p>профессиональной деятельности.</p> <p>В1 (ОПК-2) Владеть навыками поиска (в том числе с использованием новейших информационных систем и баз данных) и критического анализа научной и технической информации по тематике проводимых исследований.</p> <p>В2 (ОПК-2) Владеть навыками использования знаний в области информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p>
ПК-1	<p>З1 (ПК-1) Знать современное состояние науки в области квантовой электроники, тенденции развития фундаментальных исследований и прикладных разработок лазеров и лазерных информационных и фотонных технологий, цели и задачи научных исследований в выбранной области, базовые принципы и методы их организации.</p> <p>З2 (ПК-1) Знать физические и конструкционные особенности лазеров разных типов, современные материалы, компоненты, лазерное диагностическое и технологическое оборудование, технологические процессы производства.</p> <p>У1 (ПК-1) Уметь проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p> <p>В2 (ПК-1) Владеть навыками исследования, моделирования, проектирования, конструирования и практического применения материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p>

9. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам:

№ темы и название	Количество часов
1. Линейное и нелинейное поглощение лазерного излучения в различных средах, обмен и релаксация энергии молекулами и наночастицами.	16
2. Лазерная химия, неравновесные лазероиндуцированные фото- и термохимические процессы, лазерный синтез химических соединений.	18
3. Принципы селективного воздействия лазерного излучения на атомы и молекулы, лазерное разделение изотопов.	18
4. Лазероиндуцированные микро- и макроскопические процессы на поверхности и в объеме твердых материалов.	18
5. Лазерное формирование двумерных и трехмерных микроструктур.	16

6. Лазерная абляция материалов в жидких средах, синтез и функционализация наночастиц.	18
Итоговая аттестация (зачет)	4
ВСЕГО (часов)	108

Вид занятий

Лекции:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	Поглощение и релаксация энергии лазерного излучения атомами, молекулами, твердыми телами и наночастицами.	2
2	Неравновесные лазероиндуцированные фото- и термохимические процессы, газофазный ИК лазерный синтез.	2
3	Селективное воздействия лазерного излучения на атомы и молекулы, лазерное разделение изотопов.	2
4	Иерархия лазероиндуцированных микро- и макропроцессов в твердых материалах.	2
5	Лазерное формирование двухмерных и трехмерных нано- и микроструктур, аддитивные технологии.	2
6	Лазерный синтез и функционализация наночастиц.	2
ВСЕГО (часов)		12

Практические занятия:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	ИК Фурье спектроскопия многоатомных молекул.	2
2	КР спектроскопия многоатомных молекул.	2
3	Лазерная абляция материалов в воде, скоростная фотография, оптоакустика.	2
4	Лазерное структурирование поверхности материалов, трехмерная микроскопия.	2
5	Трехмерная лазерная печать микроструктур.	2
6	Анализ микроструктур с помощью оптических и электронных микроскопов.	2
ВСЕГО (часов)		12

Самостоятельная работа:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым аспирантом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	40
2	- выполнение тестовых заданий – выполняются задания, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий, используются конспект лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	28
3	Подготовка к зачету	12
ВСЕГО (часов)		80

Содержание разделов дисциплины

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Объем	
			Аудиторная работа (часы)	Самостоятельная работа (часы)
1.	Линейное и нелинейное поглощение лазерного излучения в различных средах, обмен и релаксация энергии молекулами и наночастицами.	Возбужденные и диссоциативные термы молекул. Фотолюминесценция многоатомных молекул. Энергетические зоны и уровни твёрдого тела. Квазичастицы в полупроводниках. Квантоворазмерные эффекты.	4	12
2.	Лазерная химия, неравновесные лазероиндуцированные фото- и термохимические процессы, лазерный синтез химических соединений.	ИК многофотонная диссоциация многоатомных молекул, неравновесная ИК фотохимия и газофазный синтез.	4	14
3	Принципы селективного воздействия лазерного излучения на атомы и молекулы, лазерное разделение изотопов.	Спектральная селективность, перевозбуждение и распад многоатомных молекул, лазерные селективные технологии, разделение изотопов углерода.	4	14

4	Лазероиндуцированные микро- и макроскопические процессы на поверхности и в объеме твердых материалов.	Временная иерархия фото- и термопроцессов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Плазмонное поглощение металлами. Кулоновский взрыв. Взрывное кипение материалов. Акустические волны. Световое поле вблизи частиц.	4	14
5	Лазерное формирование двухмерных и трехмерных структур.	Принципы однофотонной и многофотонной фотополимеризации. Предельные размеры элементов трехмерной печати. Лазерный перенос вещества. Трехмерная печать микроструктур методом лазерного переноса. Лазерное спекание порошков.	4	12
6	Лазерная абляция материалов в жидких средах, синтез и функционализация наночастиц.	Расчет температурного поля, индуцируемого импульсным лазерным излучением в материалах. Развитие плазменного факела и кавитационного пузыря. Режимы испарения и плавления. Механизмы формирования наночастиц и управление их распределением по размерам.	4	14

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

10.1 Перечень и карта компетенций дисциплины «Основы лазерных атомно-молекулярных технологий»

Универсальные компетенции						Общепрофессиональные компетенции					Профессиональные компетенции	
УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	УК-6	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ОПК-4	ОПК-5	ПК-1	ПК-2
+						+	+				+	

Критерии оценивания компетенций приведены в основной образовательной программе высшего образования – программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность 05.27.03 Квантовая электроника).

10.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

10.2.1. Тестовое задание для сдачи зачета

1. Каков диапазон оптических длин волн и энергий?
2. Охарактеризуйте отличительные особенности оптического, УФ и ИК излучения.
3. Опишите основные виды взаимодействия лазерного излучения с веществом.
4. Что такое комплексная диэлектрическая проницаемость среды?
5. Что такое комплексный показатель преломления?
6. Чем определяется коэффициент поглощения электромагнитного излучения в веществе?
7. Формулы Френеля.
8. Что такое эффект полного внутреннего отражения (ПВО)?
9. Что такое критический угол?
10. Чем определяется глубина проникновения излучения в металлы, полупроводники, диэлектрики?
11. Типы источников лазерного излучения.
12. Опишите основные виды aberrации линз и способы их устранения.
13. Что такое термы молекул, их обозначение.
14. Правило Хунда.
15. Законы фотолюминесценции молекул.
16. Что такое фононы?
17. Что такое экситоны?
18. Запрещенные зоны полупроводников.
19. Прямозонные и непрямоzonные полупроводники.
20. Квантоворазмерные эффекты в наночастицах.
21. Что такое квантовые точки?
22. Приведите примеры ИК многофотонной диссоциации молекул.
23. Какие виды неравновесности возникают при фотовозбуждении и распаде молекул?
24. Возможна ли ИК диссоциация молекул по определенной связи?
25. Какие физические факторы влияют на селективность ИК диссоциации молекул?
26. Приведите примеры газофазного синтеза многоатомных молекул.
27. Назовите каналы и времена релаксации энергии атомов и молекул при поглощении кванта света.
28. Назовите характерные времена релаксации вращательной, колебательной и поступательной энергии многоатомных молекул.
29. Что такое кулоновский взрыв?
30. Что такое взрывное кипение? Какие условия необходимы для взрывного кипения?
31. Назовите способы расчета и измерения распределения светового поля вблизи микрочастиц.
32. Оцените характерные времена распространения акустических волн внутри наночастиц, сравните с временами тепловой релаксации.
33. Определите характерные плотности мощности, при которых возможно заметное отличие температуры наночастицы от температуры окружающей среды.
34. Сколько фотонов может поглотить молекула полимера?
35. Чем определяются размеры вокселя при фотополимеризации?
36. Можно ли с помощью лазера создать полимерную дорожку шириной 1 мкм оптического качества?
37. Какие факторы влияют на качество дорожки при лазерной полимеризации?
38. Как осуществляется лазерный перенос вещества при трехмерной печати?
39. Нарисуйте оптическую схему лазерного принтера с визуализацией процесса в режиме реального времени.
40. Что такое аддитивные технологии?
41. Что такое селективное лазерное спекание?
42. Как измерить температурное поле в образце, индуцируемое лазерным излучением?

43. Какие физико-химические процессы происходят при лазерной абляции?
44. Опишите динамику развития и релаксации кавитационного пузыря, индуцируемого при лазерном нагреве мишени в жидкой среде.
45. Предложите физико-химические механизмы формирования наночастиц при лазерной абляции в вакууме, газе, жидкости.

10.2.2. Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена:

1. Возбужденные и диссоциативные термы молекул.
2. Фотолюминесценция многоатомных молекул.
3. Энергетические зоны и уровни твёрдого тела.
4. Квазичастицы в полупроводниках.
5. Квантоворазмерные эффекты.
6. ИК многофотонная диссоциация многоатомных молекул.
7. Неравновесная ИК фотохимия и газофазный синтез.
8. Перевозбуждение и распад многоатомных молекул.
9. Лазерные атомно-молекулярные селективные технологии, разделение изотопов.
10. Временная иерархия фото- и термопроцессов в металлах, полупроводниках, диэлектриках.
11. Плазмонное поглощение металлами.
12. Взрывное кипение материалов.
13. Генерация акустических волн при лазерной абляции твердых мишеней в жидкости.
14. Световое поле вблизи микро- и наночастиц.
15. Предельные размеры элементов трехмерной печати, основанной на фотополимеризации.
16. Механизмы лазерного переноса вещества.
17. Трехмерная печать микроструктур методом лазерного переноса.
18. Лазерное спекание порошков.
19. Расчет температурного поля, индуцируемого импульсным лазерным излучением в материалах.
20. Развитие плазменного факела и кавитационного пузыря.
21. Режимы испарения и плавления материалов при лазерном воздействии.
22. Механизмы формирования наночастиц и управление их распределением по размерам.

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

При чтении лекции используются: ноутбук, проектор, экран, маркерная доска. Для получения необходимой информации используются Web-ресурсы Интернет и локальная библиотека электронных материалов. При проведении практических занятий используются компьютеры с характеристиками не ниже Windows 8-, объединенные в локальную сеть, подключенную через сеть института к сети Интернет.

Для получения экспериментальных данных используются:

Лазерное оборудование:

Лазерные источники: твердотельный лазер Brilliant Quantel ($\lambda=1064, 533, 355, 255$ нм, 4-5 пс, 20 Гц). Волоконные лазеры, излучающие на длинах волн 0.97, 1.56, 1.68, 1.94 мкм с компьютерным управлением мощностью и излучения, KrF эксимерный лазер OPTEX (Lambda Physik), лазерные диоды с длинами волн от 365 нм до 1.625 мкм различных мощностей.

Оптическое оборудование:

Дисперсионный КР-спектрометр Nicolet Almega XR (Thermo Scientific, USA),

FTIR КР спектрометр Nicolet NXR 9650 с лазерным излучателем ($\lambda=1064$ нм) для объемных жидких и твердых образцов,
Спектрофотометр УФ и видимого диапазонов Cary 50 (Varian, USA),
ИК Фурье спектрометр Nicolet Impact 410 (SpectraLab, Canada),
Спектрфлюориметр Cary Eclipse (Varian, USA).
Оптические, атомно-силовые и электронные микроскопы лабораторий ИФТ РАН и Центра коллективного пользования ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Экспериментальные установки:
Установки для сверхкритической флюидной импрегнации и экстракции,
Установка для трехмерного лазерного прототипирования.

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М.: Наука, 2004. 654 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М. Физматгиз. 1963. 702 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 855 с.
4. Поверхностные поляритоны. / Под ред. В.М.Аграновича, Д.Л.Миллса. М.: Наука, 1985. 525.с.
5. Boren C.F., Huffman D.R. Absorption and scattering of light by small particles. NY, John Willey and Sons, Inc. 1983. 530 p.
6. Введенев А.А., Гладуш Г. Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Лямшев Л.М. Лазеры в акустике // Успехи физических наук. 1987. Т. 151. №. 3. С. 479-527.
8. Егерев С.В., Лямшев Л.М., Пученков О.В. Лазерная динамическая оптоакустическая диагностика конденсированных сред // Успехи физических наук. 1990. Т. 160. № 9. С. 111-154.
9. Гусев В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. М.: Наука, 1991. 304 с.
10. Vogel A. and Lauterborn W. Acoustic transient generation by laser-produced cavitation bubbles near solid boundaries // J. Acoust. Soc. Am. 1988. V. 84. N. 2. P. 719.
11. Сандлер Б.И., Суляндзига Л.Н., Чудновский В.М., Юсупов В.И., Косарева О.В., Тимошенко В.С. Перспективы лечения дискогенных компрессионных форм пояснично-крестцовых радикулитов с помощью пункционных неэндоскопических лазерных операций. Вл-ток. Дальнаука. 2004. 181 с.
12. Vogel A and Venugopalan V. Mechanisms of pulsed laser ablation of biological tissues // Chem. Rev. 2003. V. 103. P. 577–644.
13. Сиротюк, М. Г. (2008). Акустическая кавитация. М.: Наука.
14. Баграташвили В.Н., Захаркина О.Л., Игнатьева Н.Ю., Лунин В.В. Лазерно-индуцированная и термическая модификация структуры соединительных тканей. Монография. Долгопрудный: Издательский Дом "Интеллект". 2016. 208 с.
15. Баграташвили В.Н., Соболев Э.Н., Шехтер А.Б. Лазерная инженерия хрящей (М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006).
16. В.М. Чудновский, В.И. Юсупов, А.В. Дыдыкин, В.И. Невожай, А.Ю. Кисилёв, С.А. Жуков, В.Н. Баграташвили Лазероиндуцированное кипение биологических жидкостей в медицинских технологиях // Квантовая электроника. 2017. Т. 47, № 4. С. 361-370.
17. Чудновский В.М., Юсупов В.И., Жуков С.А., Ечмаев С.Б., Баграташвили В.Н. Лазероиндуцированная генерация сверхинтенсивного пузырькового кипения // Доклады академии наук. 2017. Т. 473. №5. С. 533-535.

18. Tuchin, V. V., Wang, L., & Zimnyakov, D. A. (2006). *Optical polarization in biomedical applications*. Springer Science & Business Media.
19. Ельяшевич, М. А. (2006). *Атомная и молекулярная спектроскопия. Общие вопросы спектроскопии*. М: Эдиториал УРСС
20. Тучин, В. В. (2007). *Оптическая биомедицинская диагностика*. М.:Физматлит.
21. Born, M., & Wolf, E. (2013). *Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*. Elsevier.
22. Brosseau C. *Fundamentals of Polarized Light: A Statistical Optics Approach*. Jons Willey&Sons, Inc. New York. 1998.

Дополнительная литература:

1. Дыкман Л.А., Богатырев В.А., Щеголев С.Ю., Хлебцов Н.Г. Золотые наночастицы. М. Наука. 2008. 319 с.
2. Лазеры в технологии. / Под ред. М.Ф.Стельмаха. М.: Энергия, 1975.
3. Арутюнян Р.В., Баранов В.Ю., Большов Л.А. и др. Воздействие лазерного излучения на материалы. М.: Наука, 1989.
4. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В.Я. Панченко. М.: Физматлит, 2009. 664 с.
5. Мирзаде Ф. Х., Панченко В. Я. Шелепин Л. А. Лазерное управление процессами в твердом теле // Успехи физических наук, 1996. Т. 165, №1. С. 3-33.
6. Цветков. М.Ю., Минаев Н.В., Акованцева А.А., Пудовкина Г.И., Тимашев П.С., Цыпина С.И., Юсупов В.И., Муслимов А.Э., Буташин А.В., Каневский В.М., Баграташвили В.Н. Травление сапфира в сверхкритической воде при ультравысоких температурах и давлениях в условиях импульсной лазерной термоплазмоники // Сверхкритические флюиды: Теория и Практика. 2017. Т. 12. №2. С. 68-80
7. М.Ю. Цветков, В.И. Юсупов, П.С. Тимашев, К.М. Голант, Н.В. Минаев, В.Н. Баграташвили. Повышение эффективности лазерного жидкостного травления оптически прозрачных материалов за счет лазероиндуцированного формирования наночастиц углерода и серебра // Российские нанотехнологии. 2017. Т. 12. №1-2. С. 53-60.
8. M Yu Tsvetkov, V I Yusupov, N V Minaev, P S Timashev, K M Golant and V N Bagratashvili. Effects of thermo-plasmonics on laser-induced backside wet etching of silicate glass // Laser Physics Letters. 2016. **13**. 106001
9. Чудновский В.М., Юсупов В.И., Захаркина О. Л., Игнатьева Н. Ю., Жигарьков В.С., Яшкин М.Н., Баграташвили В.Н. Вклад лазероиндуцированной газо-парожидкостной динамики в механизм эндовенозной лазерной облитерации // Современные технологии в медицине. 2016. Т. 8. № 2. С. 6-13.

Периодическая литература

Журналы:

Квантовая электроника

Акустический журнал

Успехи физических наук

Доклады академии наук

Российские нанотехнологии

Сверхкритические флюидные технологии: Теория и Практика

Современные технологии в медицине

Биофизика

Laser Physics

Laser Physics Letters

Nanotechnology

Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.

РИНЦ	https://elibrary.ru/orgs.asp
Web of Science	http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&preferencesSaved=
Scopus	https://www.scopus.com/home.uri
Google Scholar citations	https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8A-AAAJ&hl=ru
IOP Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal	http://www.iop.org/
AIP материалы компании American Institute of Physics	https://www.aip.org/
CASC материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases
APS Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals	https://www.aps.org/
IEEE материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
RSC материалы Royal Society of Chemistry	http://pubs.rsc.org/
Wiley материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals	http://onlinelibrary.wiley.com/
Inspec материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec
ProQuest материалы компании и PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global	https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html
SpringerNature Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно:	http://link.springer.com/

Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database	http://www.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22 http://zbmath.org/ http://npg.com/ https://nano.nature.com
Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct	https://www.elsevier.com/
CCDC - Cambridge Crystallographic Data Centre Зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных	https://www.ccdc.cam.ac.uk/
Scifinder База данных	https://scifinder.cas.org

13. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ - русский.

Программу составили:

д.ф.-м.н. А.П. Свиридов

к.ф.-м.н. В.И. Юсупов