

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)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор

по образовательной деятельности

А.А. Панфилов

« 02 » 09 20 19 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Активные среды твердотельных лазеров**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Профиль/программа подготовки Лазерные и квантовые технологии

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения Очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
8	3/108	27	27	-	18	Экзамен (36ч)
<b>ИТОГО</b>	3/108	27	27	-	18	Экзамен (36ч)

Владимир 2019 г.

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины “Активные среды твердотельных лазеров” является ознакомление с физическими принципами, технологиями изготовления и применения современных активных сред твердотельных лазеров.

### Задачи дисциплины:

- получение знаний в области физических принципов, лежащих в основе оптической керамики;
- знакомство с технологиями изготовления активных сред твердотельных лазеров;
- приобретение умений по проектированию узлов и элементов лазерной техники, функционирующих с использованием твердотельных активных элементов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина “Активные среды твердотельных лазеров” относится к дисциплинам по выбору вариативной части ОПОП.

Изучение дисциплины предполагает наличие у студентов фундаментальных знаний в области общей физики, оптики, квантовой электроники, лазерной техники, информатики, электроники и микропроцессорной техники.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ПК-1	частично	<b>Знать:</b> принципы генерации излучения лазерами; элементную базу лазерной техники; основные типы и характеристики оптических систем лазерных оптико-электронных приборов и оборудования; принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов; опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при эксплуатации лазерных систем и технологий; методы работы с научно-технической литературой и информацией <b>Уметь:</b> определять параметры и характеристики элементов лазерных систем и технологий для заданных условий и режимов эксплуатации; анализировать взаимодействие лазерного излучения с материалами и средами; применять информационные ресурсы и технологии; представлять информацию в систематизированном виде; работать с научно-технической литературой и информацией; <b>Владеть:</b> навыками работы со средствами компьютерного проектирования, используемыми при конструировании узлов и блоков лазерных комплексов; навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем;
ПК-2	частично	<b>Знать:</b> основные области применения лазерной техники и лазерных технологий; принципы построения и состав лазерных приборов и систем; принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов; оптические материалы и технологии; опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при

		<p>эксплуатации лазерных систем и технологий; методы работы с научно-технической литературой и информацией</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым оптическим узлам и элементам лазерных приборов и систем; определять, формулировать и обосновывать требования к разрабатываемым узлам и элементам лазерных приборов и систем; обосновывать предлагаемые технические решения при проектировании узлов и элементов лазерных приборов и систем; применять информационные ресурсы и технологии.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем.</p>
ПК-3	частично	<p><b>Знать:</b> основные типы и характеристики оптических систем лазерных оптико-электронных приборов, оборудования и технологий; принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов; элементную базу, используемую в изделиях лазерной техники; методы работы с научно-технической литературой и информацией; правила оформления чертежей и конструкторской документации; компьютерные технологии моделирования и конструирования лазерных оптико-электронных приборов; опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при эксплуатации лазерных систем и технологий</p> <p><b>Уметь:</b> выбирать метод(ы) расчёта при разработке лазерных приборов и систем; рассчитывать параметры и характеристики оптического узла лазерных приборов и систем; рассчитывать и выбирать поля допусков на конструктивные элементы оптических деталей и узлы крепления; разрабатывать конструкторскую документацию; конструировать типовые детали и узлы лазерной техники; подбирать по заданным параметрам и характеристикам элементную базу лазерных приборов и систем; применять информационные ресурсы и технологии; анализировать, представлять и оформлять результаты проектно-конструкторской деятельности при разработке лазерных приборов, систем и технологий;</p> <p><b>Владеть:</b> прикладными программами расчёта лазерных оптико-электронных приборов; компьютерными технологиями расчёта и конструирования лазерных оптико-электронных приборов.</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
	Физико-химические принципы работы твердотельных активных элементов	8	1-3	9	11		9	10/50	Рейтинг-контроль №1
	Активная лазерная керамика	8	4-6	9	10		9	9/47	Рейтинг-контроль №2

Анализ свойств и применение твердотельных активных элементов	8	7-9	9	6			7/46	Рейтинг-контроль №3
Наличие в дисциплине КП/КР								-
Всего:	8	9	27	27		18	26/48	Экзамен (36)

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### Раздел 1. Физико-химические принципы работы твердотельных активных элементов.

- 1.1. Введение. Активированные монокристаллы, оптическая керамика, стёкла – основные материалы АЭ твердотельных лазеров.
- 1.2. Энергетические уровни РЗ ионов и ионов переходных элементов в лазерных материалах.
- 1.3. Процессы трансформации энергии в лазерных материалах.
- 1.4. Физико-химические параметры лазерных материалов.
- 1.5. Типы лазерных сред (обзор основных легирующих ионов и матриц).

#### Раздел 2. Активная лазерная керамика.

- 2.1. Активная лазерная керамика. Её место среди прочих лазерных сред.
- 2.2. Синтез исходных продуктов (порошков) для лазерной керамики.
- 2.3. Основные технологии компактирования/прессования/спекания лазерной керамики.

#### Раздел 3. Анализ свойств и применение твердотельных активных элементов.

- 3.1. Методы построения мощных и сверхмощных твердотельных лазерных систем.
- 3.2. Методы исследования оптических свойств лазерных материалов.

### Содержание практических занятий по дисциплине

ТЕМА 1. Активированные монокристаллы, оптическая керамика, стёкла – основные материалы АЭ твердотельных лазеров.

ТЕМА 2. Энергетические уровни РЗ ионов и ионов переходных элементов в лазерных материалах.

ТЕМА 3. Процессы трансформации энергии в лазерных материалах.

ТЕМА 4. Физико-химические параметры лазерных материалов.

ТЕМА 5. Типы лазерных сред (обзор основных легирующих ионов и матриц).

ТЕМА 6. Активная лазерная керамика. Её место среди прочих лазерных сред.

ТЕМА 7. Синтез исходных продуктов (порошков) для лазерной керамики.

ТЕМА 8. Основные технологии компактирования/прессования/спекания лазерной керамики.

ТЕМА 9. Методы построения мощных и сверхмощных твердотельных лазерных систем.

ТЕМА 10. Методы исследования оптических свойств лазерных материалов.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Активные среды твердотельных лазеров» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (раздел №1-3);*
- *Анализ ситуаций (тема №4-6);*
- *Разбор конкретных ситуаций (тема №8-10);*
- *Другое.*

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

### а) Экзаменационные вопросы и задачи

1. Активированные монокристаллы.
2. Основные материалы активных элементов твердотельных лазеров.
3. Энергетические уровни РЗ ионов в лазерных материалах.
4. Энергетические уровни ионов переходных элементов в лазерных материалах.
5. Процессы трансформации энергии в лазерных материалах.
6. Физико-химические параметры лазерных материалов.
7. Основные легирующие ионы и атомы лазерных сред.
8. Активная лазерная керамика.
9. Синтез исходных продуктов для лазерной керамики.
10. Основные технологии компактирования лазерной керамики.
11. Основные технологии прессования лазерной керамики.
12. Основные технологии спекания лазерной керамики.
13. Мощные и сверхмощные твердотельные лазерные системы.
14. Методы исследования оптических свойств лазерных материалов.

### б) Вопросы рейтинг-контроля

#### Рейтинг-контроль № 1

1. Сверхнизкие потери (~долей дБм/км) волоконных световодов обусловлены:
  - прежде всего выдержкой точных соотношений размеров световедущей сердцевины и оболочки;
  - удалением из стекла в первую очередь примесей переходных металлов, которые и обуславливают затухание в волокне;
  - нанесением требуемых защитных оболочек, предотвращающих негативное влияние факторов внешней среды на распространение оптического излучения в волокне.
2. Наименьшие потери кварцевые оптические волокна имеют на длине волны:
  - 1.37 мкм, ибо на этой длине волны отсутствует вклад в поглощение, вносимый гидроксильными группами –ОН;
  - на длине волны ~850 нм, ибо именно в этой спектральной области работают наиболее распространённые полупроводниковые лазеры ближнего ИК-диапазона;
  - на длине волны 1.55 мкм, ибо именно в этой спектральной области минимизируются суммарные потери от рэлеевского рассеяния и поглощения радикалами –ОН.
3. Стёкла, независимо от их химического состава, характеризуются следующими свойствами:
  - в структуре стекла присутствует только ближний порядок атомов и отсутствует дальний, характерный для кристаллических веществ;
  - каждая марка стекла характеризуется определённой температурой плавления;
  - бездефектные, однородные по составу и свободные от механических напряжений стекла оптически изотропны;
  - бездефектные, однородные по составу и свободные от механических напряжений стекла оптически анизотропны;
4. Для формирования световедущей сердцевины в качестве легирующих добавок, повышающих показатель преломления, чаще всего используются:
  - фторсодержащие вещества;
  - только  $\text{GeO}_2$  или  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
  - любые легирующие оксиды, кроме  $\text{B}_2\text{O}_3$  и F.
5. Для защиты оптического волокна в процессе вытяжки наносится защитно-упрочняющее покрытие. Покрытие может быть:
  - только полимерным, ибо полимер мягок, легко деформируется и не создаёт механических напряжений в волокне;
  - только металлическим, ибо остальные типы покрытий являются влагонепроницаемыми;
  - только углеродным, наносимым путём пиролиза;любым из перечисленных выше. Выбор покрытия обусловлен условиями эксплуатации волокна.
6. Метод MCVD хорош тем, что все процессы осаждения легирующих примесей выполняются:
  - на внутреннюю поверхность трубы-заготовки. Это обеспечивает изоляцию от воздействия

внешней среды и упрощает технологический процесс;

- на специальный штабик из пористого стекла, помещаемый внутри трубы-заготовки;
- на внешнюю поверхность трубы, ибо иначе продукты окисления / гидролиза хлоридов не могли бы удаляться из зоны химической реакции и недопустимым образом засоряли бы её.

7. Для обеспечения высокого качества заготовки метод OVD требует:

- сушки, поскольку процесс гидролиза в пламени кислородно-водородной горелки приводит к высокому содержанию в заготовке адсорбированных паров  $H_2O$  и OH-групп;
- согласования линейного расширения материалов сердцевины и оболочки;
- высокой чистоты технологической зоны.

### Рейтинг-контроль № 2

1. В сравнении с методом MCVD метод OVD обеспечивает

- существенно более высокую скорость осаждения;
- нетребователен к чистоте технологической зоны;
- из-за наличия центрального отверстия в заготовке обеспечивает наилучшее распределение профиля показателя преломления в волокне после вытяжки;
- отсутствие в технологическом процессе дорогостоящих кварцевых труб.

2. Преимущества метода VAD в сравнении с другими методами парофазного осаждения состоят в том, что:

- имеется принципиальная возможность изготовления заготовок любой длины;
- метод технически просто реализуется и не требует контроля большого количества технологических параметров;
- отсутствует центральный провал в профиле показателя преломления как заготовки, так и готового оптического волокна.

3. Жакетирование заготовок – технологический приём, позволяющий:

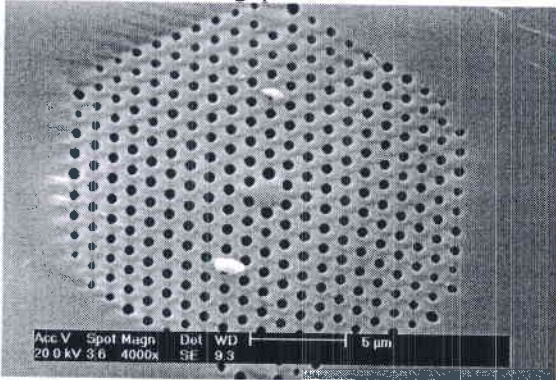
- для процесса MCVD увеличить эффективность осаждения хлорида кремния с 50-60% почти до 100%;

- повысить скорость осаждения окислов при использовании OVD технологии и ещё более поднять общую производительность;
- повысить производительность процесса MCVD и увеличить габариты получаемой заготовки.

4. При производстве активных оптических волокон в состав сердцевины необходимо вводить модификаторы ( $Al_2O_3$  или  $P_2O_5$ ) для того, чтобы:

- понизить содержание гидроксильных групп в материале сердцевины;
- скомпенсировать изменение показателя преломления сердцевины, вызванное введением ионов-активаторов;
- повысить пределы допустимых концентраций иона-активатора в сердцевине без разделения фаз до уровня ~1%;
- понизить возникающие из-за легирования ионами РЗЭ вариации показателя преломления по длине заготовки.

5. На приведенной микрофотографии изображено микроструктурированное волокно типа holey fiber или photonic band gap fiber?

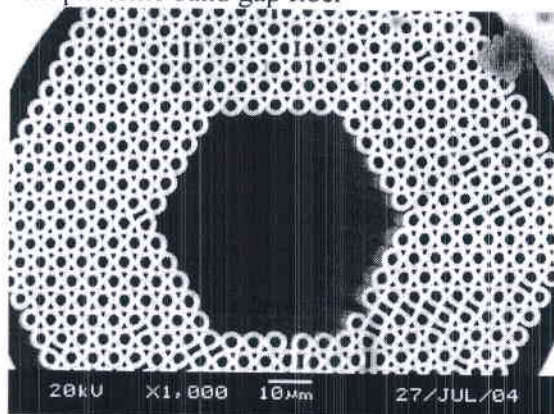


6. Золь-гель технологию синтеза стёкол, активированных ионами редкоземельных металлов, отличает:

- высокая чистота стекла, базирующаяся на чистоте сырьевых материалов;
- высокая температура получения монолитного стекла;
- повышенное содержание гидроксильных групп в стекле и, соответственно, в волокне;
- малое время, затрачиваемое на процесс;

– сложность используемого оборудования.

7. На приведенной микрофотографии изображено микроструктурированное волокно типа holey fiber или photonic band gap fiber



### Рейтинг-контроль № 3

1. Керамика – это:

- неметаллические неорганические материалы на основе кристаллических соединений неметаллов и металлов, консолидированные в изделия требуемой формы;
- неорганические порошковые материалы с добавками органических веществ-пластификаторов, спрессованные с применением различных технологий в изделия требуемой формы;
- неорганические материалы, имеющие кристаллическую структуру, и характеризующиеся наноразмерным масштабом составляющих их кристаллитов. Производятся из порошков методом спекания.

2. Реактивный метод получения активной гранатовой керамики подразумевает:

- получение порошка состоящего из монодисперсных наночастиц, имеющих химический состав, полностью соответствующий составу конечного продукта, и последующую его консолидацию в готовое изделие по какой-либо технологии прессования/ спекания без проведения каких бы то ни было химических реакций;
- получение порошков, состоящих из монодисперсных наночастиц, имеющих различный химический состав, вступающих в реакцию, обеспечивающую получение как требуемого химического состава конечного продукта, так и его заданную геометрическую форму на этапе спекания;
- помол в шаровых мельницах исходного монокристаллического сырья до требуемого наноразмерного гранулометрического состава, гомогенизация и механическая активация такого порошка с последующей его консолидацией в готовое изделие по какой-либо технологии прессования/ спекания;
- парофазный MCVD процесс, обеспечивающий получение монодисперсного порошка  $Y_2Al_3O_{12}$ , и последующую его консолидацию в готовое изделие по какой-либо технологии прессования/ спекания без проведения каких бы то ни было химических реакций.

3. Требование небольшой ширины фононного спектра для всех материалов матриц твердотельных лазеров обусловлены:

- требованием высокой теплопроводности;
- требованием высокого квантового выхода люминесценции;
- требованием малости светорассеяния на длине волны генерации;
- требованием обеспечения большого поглощения на длине волны накачки.

4. Стёкла, как материал матрицы твердотельного лазера:

- превосходят монокристаллические и керамические материалы по совокупности теплофизических свойств;
- обеспечивают получение активных элементов лазеров существенно больших геометрических размеров в сравнении с монокристаллическими и керамическими материалами при существенно меньшей стоимости;
- превосходят монокристаллические и керамические материалы по такому важному параметру как сечение вынужденного перехода.

5. Безреактивный метод получения оптической керамики подразумевает:

- получение порошка состоящего из монодисперсных наночастиц, имеющих химический состав, полностью соответствующий составу конечного продукта, и последующую его консолидацию в

готовое изделие по какой-либо технологии прессования/ спекания без проведения каких бы то ни было химических реакций;

- получение порошков, состоящих из монодисперсных наночастиц, имеющих различный химический состав, вступающих в реакцию, обеспечивающую получение как требуемого химического состава конечного продукта, так и его заданную геометрическую форму на этапе спекания;

- помол в шаровых мельницах исходного монокристаллического сырья до требуемого наноразмерного гранулометрического состава, гомогенизация и механическая активация такого порошка с последующей его консолидацией в готовое изделие по какой-либо технологии прессования/ спекания;

- парофазный процесс с применением микроволновой плазмы, обеспечивающий получение монодисперсного порошка  $Y_2Al_5O_{12}$ , и последующую его консолидацию в готовое изделие по какой-либо технологии прессования/ спекания без проведения каких бы то ни было химических реакций.

6. Помол порошков, составляющих керамику, нужен для:

- измельчения исходного порошкового материала до наноскопических размеров (~100-200 нм);

- механохимической активации поверхности наночастиц и устранения их агломерации;

- равномерного перемешивания порошков различного химического состава в методе безреактивного синтеза керамики.

7. Методы изостатического прессования в сравнении с одноосным нагружением обеспечивают:

- существенное упрощение применяемой технологической оснастки и общее удешевление технологии;

- гораздо лучшую однородность прессуемого изделия за счёт равномерного наложения давления;

- существенно лучшую точность размеров прессуемых изделий.

8. В процессе спекания происходит:

- уменьшение пористости преформы, вплоть до её полного исчезновения;

- уменьшение площади контакта между отдельными кристаллитами;

- увеличение размеров зёрен с изменением их формы;

- уменьшение размеров зёрен без изменения их формы

9. Оптическая керамика теряет свою прозрачность, если пористость образца составляет:

- не превосходит 0.1%;

- 1% и более;

- значение прозрачности не может быть охарактеризовано одним численным параметром пористости. Светопропускание зависит от многих факторов: материала образца, характерных размеров пор и кристаллитов, длины волны света, для которого определяется пропускание и пр.;

- более 2.5%.

10. Керамика на основе полторных оксидов ( $Me^{3+}_2O_3$ ) превосходит YAG-керамику по:

- по теплопроводности (на 40-50% в зависимости от конкретного иона  $Me^{3+}$ );

- по максимально достижимым геометрическим размерам прессуемых заготовок;

- по более приемлемым температурным режимам спекания; (П)

- по существенно более простой технологии механической обработки (шлифование и полирование.)

11. Отличительной особенностью LuAG ( $Lu_3Al_5O_{12}$ ) керамики является:

- экстремально высокая теплопроводность;

- способность принимать высокие (~ 10%) концентрации иона-активатора  $Yb^{3+}$  без заметного ухудшения теплофизических и генерационных характеристик;

- высокая твёрдость (~8.7 по шкале Мооса)

12. Фторидная активная керамика превосходит одноимённые фторидные монокристаллы по:

- максимально допустимым геометрическим размерам;

- увеличенным временем жизни верхнего лазерного уровня;

- лучшими механическими характеристиками, особенно стойкостью к термоудару;

- более высокой прозрачностью.

#### **в) Вопросы к самостоятельной работе студента**

1. Назовите специфические виды стекол, которые отличают их от кристаллов и жидкостей.

2. Чему равен показатель преломления чистого кварцевого стекла при комнатной температуре?

3. Что такое термическое расширение стекла?

4. Назовите исходные материалы для получения кварцевого стекла.



5. В чем заключается преимущество парофазных методов получения кварцевых заготовок ОВ?
6. Перечислите основные этапы и недостатки процесса MCVD.
7. Что означает аббревиатура OVD?
8. В чем суть процесса “жакетирования”?
9. Что включает в себя установка для вытяжки оптических волокон?
10. Какие покрытия оптических волокон используют при жестких условиях эксплуатации?
11. Какие оптические волокна применяются в телекоммуникациях?
12. Опишите структурированные оптические волокна.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
<b>Основная литература*</b>			
Пойзнер, Б. Н. Физические основы лазерной техники : учебное пособие / Б.Н. Пойзнер. — 2-е изд., доп. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 160 с. — (Высшее образование: Магистратура). — DOI 10.12737/textbook_592d268c487362.64807642. - ISBN 978-5-16-012817-7.	2019		<a href="https://znanium.com/catalog/product/1214884">https://znanium.com/catalog/product/1214884</a>
Шашлов, А. Б. Основы светотехники : учебник для вузов / А. Б. Шашлов. - 2-е изд. доп. и перераб. - Москва : Логос, 2020. - 256 с. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 978-5-98704-586-2.	2012		<a href="https://znanium.com/catalog/product/1213092">https://znanium.com/catalog/product/1213092</a>
Введение в фемтонанوفотонику: 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. Аракеяна. - Москва : Логос, 2020. - 744 с. - ISBN 978-5-98704-812-2. -	2019		<a href="https://znanium.com/catalog/document?id=367351">https://znanium.com/catalog/document?id=367351</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
Афанасьев, А. А. Технология конструкционных материалов : учебник / А.А. Афанасьев, А.А. Погонин. — 2-е изд., стереотип. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 656 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — <a href="http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_59ccae293b6d09.40302081">www.dx.doi.org/10.12737/textbook_59ccae293b6d09.40302081</a> . - ISBN 978-5-16-013399-7. -	2019		<a href="https://znanium.com/catalog/product/1022072">https://znanium.com/catalog/product/1022072</a>
Тарасова, Т. В. Аддитивное производство : учеб. пособие / Т.В. Тарасова. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 196 с. — (Высшее образование: Специалитет). — <a href="http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5c25c2b3a03f99.16774025">www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5c25c2b3a03f99.16774025</a> . - ISBN 978-5-16-014676-8	2019		<a href="https://znanium.com/catalog/product/997109">https://znanium.com/catalog/product/997109</a>
Гоцеридзе, Р. М. Технология конструкционных материалов в приборостроении : учебник / Р.М. Гоцеридзе. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 423 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-005048-5. - Текст : электронный.	2018		<a href="https://znanium.com/catalog/product/973006">https://znanium.com/catalog/product/973006</a>

### **Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. «Квантовая электроника» - ведущий российский научный ежемесячный журнал в области лазеров и их применений:

<http://www.quantumelectron.ru/pa.phtml?page=geninfo>

2. Научно-технический журнал «Фотоника» - <http://www.photonics.su/>

3. Оптический журнал - <http://opticjourn.ifmo.ru/>

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Практические/лабораторные работы проводятся в ауд. 430-3.

Оборудование:

- лазер твердотельный волоконный ЛС-02;
- комплекс лабораторный «Омега-ТК»;
- плита оптическая ИТЮ-20-20;
- комплекс оптико-физических измерений;

Рабочую программу составила доцент доцент каф. ФиПМ Панков М.А. \_\_\_\_\_  
(ФИО, подпись)

Рецензент (представитель работодателя) Ген. директор ООО «ВладИнТех» Осипов А.В.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ  
Протокол №1 от 02.09. 2019 года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии  
Протокол №1 от 02.09. 2019 года  
Председатель комиссии \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_