

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧ и КР)

**КОГЕРЕНТНАЯ И НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА ФОТОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания по проведению практических занятий и
организации самостоятельной работы студентов

Направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии
и системы связи». Магистерская программа «Оптические системы связи и
обработки информации»

Томск 2018

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧ и КР)

Утверждаю
Зав. каф. СВЧ и КР
_____ С.Н. Шарангович

**КОГЕРЕНТНАЯ И НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА ФОТОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания по проведению практических занятий и
организации самостоятельной работы студентов

Направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии
и системы связи». Магистерская программа «Оптические системы связи и
обработки информации»

Разработчик:
проф. каф. СВЧ и КР
_____ А.Е. Мандель

Томск 2018

Содержание

1. Введение.	4
2. Цели и задачи дисциплины.....	6
3. Место дисциплины в структуре ООП.....	6
4. Требования к результатам освоения дисциплины.....	6
5. Содержание лекционных разделов дисциплины.	8
5.1. Электромагнитная теория когерентной оптики в фотонных материалах	8
5.2. Характеристики оптических волн в фотонных материалах.....	8
5.3 . Технология и материалы когерентных фотонных структур.....	8
5.4. Основы нелинейной оптики фотонных материалов.....	9
5.5. Дифракционные и нелинейно-оптические элементы на основе фотонных материалов для систем передачи и обработки информации.....	9
6. Лабораторные занятия.	9
7. Практические занятия.	10
8. Список вопросов и тестовых заданий к дифференцированному зачету	12
7. Контрольные этапы и их максимальный рейтинг.	19
8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.	20

Введение

Практические занятия являются связующим звеном между теорией и практикой, на них учащиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, полученные на лекциях, проверяют научно-теоретические положения расчетами. Правильно организованные практические и лабораторные занятия способствуют формированию будущего специалиста, который сможет не только выполнять работу по заданию предприятия, но и вести самостоятельный творческий поиск, приобретает навыки анализировать и обобщать полученную информацию.

Эффективной формой организации обучения в высшей школе являются семинарские занятия, с которыми органично сочетаются лекции. Семинар - вид практических занятий, который предусматривает самостоятельную проработку студентами отдельных тем и проблем в соответствии содержания учебной дисциплины и обсуждение результатов этого изучения, представленных в виде тезисов, сообщений, докладов, рефератов и т.д.

Самостоятельная работа студентов является частью учебного процесса при подготовке квалифицированных специалистов, способных самостоятельно и творчески решать стоящие перед ними задачи. В ходе самостоятельной работы формируются важнейшие профессиональные навыки будущего специалиста, такие как: внутренняя готовность к самообразованию в профессиональной сфере, самостоятельность, инициативность и ответственность, умение работать с источниками информации.

Каждая дисциплина должна иметь методическое сопровождение по самостоятельному изучению разделов и тем, указанных в рабочей программе, по написанию рефератов, выполнению лабораторных работ. В связи с этим эффективная организация самостоятельной работы студентов требует проведения целого ряда мероприятий, создающих предпосылки и условия для реализации самостоятельной работы, а именно:

- обеспечение студентов информационными ресурсами (учебными пособиями, справочниками, банками индивидуальных заданий);

- обеспечение студентов методическими материалами (учебно-методическими практикумами, сборниками задач, указаниями по выполнению лабораторных работ);
- наличие материальных ресурсов (ПК, измерительного и технологического оборудования для выполнения заданий в рамках НИР и ГПО);
- организации консультаций преподавателей.

Важным элементом в организации самостоятельной работы студентов является контроль. Контроль требует разработки преподавателем контролирующих материалов в текстовом или тестовом исполнении, а при использовании ПК - пакета прикладных программ для проверки знаний студентов. Эффективная система контроля (в т.ч. электронная система контроля), наряду с рейтинговой системой оценки знаний, позволит добиться систематической самостоятельной работы студентов над учебными материалами и повысить качество обучения.

Пособие разработано для студентов направления подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», обучающихся по магистерской программе «Оптические системы связи и обработки информации».

1. Цели и задачи дисциплины

Целью преподавания дисциплины “ Когерентная и нелинейная оптика фотонных материалов” является изучение студентами основ строения фотонных материалов, основных процессов, происходящих в фотонных материалах при распространении в них когерентного света.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- приобретение навыков по экспериментальным исследованиям в области когерентной и нелинейной оптики фотонных материалов.
- приобретение знаний о методах использовании нелинейно-оптических компонентов в оптических системах передачи и обработки информации
- формирование у студентов способности использовать современную, основанную на фотонных материалах, элементную базу при построении инфокоммуникационных систем и сетей.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Когерентная и нелинейная оптика фотонных материалов» (Б1.В.ДВ.3.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Оптические системы связи и обработки информации, Формирование и обработка сигналов систем связи.

Последующими дисциплинами являются: Преддипломная практика, Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способности реализовывать новые принципы построения инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации (ОПК-4),

- готовности использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области ИКТиСС (ПК-8).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать - основные принципы и физические эффекты когерентной и нелинейной оптики фотонных материалов;

- основные схемы и конструкции нелинейно-оптических элементов на основе фотонных материалов;

Уметь - определять и обосновывать целесообразность использования нелинейно-оптических элементов на основе фотонных материалов для работы в составе оптических приборов и систем передачи и обработки информации;

- применять на практике известные методы анализа и экспериментального исследования нелинейно-оптических элементов на основе фотонных материалов;

Владеть - методами расчета и анализа характеристик базовых нелинейно-оптических элементов на основе фотонных материалов..

4. Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Вид учебной деятельности	3 семестр	Всего	Единицы
Лабораторные работы	16	16	часов
Самостоятельная работа	124	124	часов
Лекции	18	18	часов
Практические занятия	22	22	часов
Всего (без экзамена)	180	180	часов
Общая трудоемкость	180	180	часов
	5	5	З.Е
Дифференцированный зачет		3 семестр	

5. Содержание лекционных разделов дисциплины

5.1. Электромагнитная теория когерентной оптики в фотонных материалах.

Определение и базовые понятия о микроструктурах с фотонной запрещенной зоной - фотонная зона Бриллюэна, закон дисперсии, фотонная зонная структура, фотонная запрещенная зона. Модовая структура оптического поля внутри фотонных кристаллов. Волновое уравнение и задача о модовой структуре поля, фазовая и групповая скорости, плотность фотонных состояний.

Аналогии фотонных кристаллов с твердым телом. Дефекты (вакансии и примеси) в фотонных кристаллах.

5.2. Характеристики оптических волн в слоистых структурах на фотонных материалах

Подавление спонтанного излучения атомов внутри фотонных кристаллов. Управление спектром нулевых вакуумных флуктуации. Лэмбовский сдвиг в фотонных кристаллах. Гигантская оптическая дисперсия и аномальная групповая скорость. Компрессия сверхкоротких лазерных импульсов в фотонных кристаллах.

Эффекты локализации электромагнитного поля и управление фотонной запрещенной зоной. Локализация света в фотонных кристаллах с дефектами.

Распространение света в квазипериодических фотонных кристаллах. Квазикристаллы типа Фибоначчи. Компрессия и декомпрессия сверхкоротких лазерных импульсов в квазикристаллах. Биение мод и аномально малая групповая скорость.

5.3. Технология и материалы когерентных фотонных структур

Основные материалы для изготовления фотонных кристаллов. Примеры одномерных фотонных кристаллов. Брэгговские зеркала, микрорезонаторы, одномерные волноводы. Двумерные фотонные кристаллы. Трехмерные фотонные кристаллы. Опалы, инвертированные опалы, самоагрегирующийся латекс. Методы создания оптических сверхрешеток и нелинейных фотонных кристаллов. Периодические и квазипериодические доменные структуры.

5.4. Основы нелинейной оптики фотонных материалов

Понятие о нелинейных фотонных кристаллах. Двумерный фазовый синхронизм при генерации второй гармоники в нелинейных фотонных кристаллах. Двумерная нелинейная дифракция в нелинейных фотонных кристаллах.

Оптические сверхрешетки. Параметрическое взаимодействие волн, фазовый синхронизм при генерации второй гармоники, суммарной и разностной частоты в оптических сверхрешетках.

Нелинейные квазикристаллы и аperiodические оптические сверхрешетки. Генерация второй и третьей гармоники в условиях фазового синхронизма в аperiodических сверхрешетках и структурах типа Кантора и Фибоначчи.

5.5 Дифракционные и нелинейно-оптические элементы на основе фотонных материалов для оптических приборов и систем передачи и обработки информации

Устройства оптоэлектроники на основе фотонных кристаллов. Оптические диоды и транзисторы.

Дырчатые волокна. Микролазеры без инверсии населенности. Оптические переключатели и мультиплексоры.

Магнитооптические модуляторы света. Электромагнитные кристаллы для ИК и СВЧ областей. Фононные кристаллы. Спиновые (магнитные) кристаллы. Плазмонные кристаллы.

6. Лабораторные занятия

Основными целями выполнения лабораторных работ являются:

- приобретение студентами практических навыков работы с устройствами управления оптическим излучением;
- углубленное освоение студентами теоретических положений изучаемой дисциплины.

При выполнении лабораторных работ студент должен продемонстрировать знание соответствующего теоретического материала и знакомство с учебно-методической литературой по заданной теме.

Список лабораторных работ:

1. Исследование изотропной дифракции когерентного света на периодических доменных структурах в кристалле ниобате лития
2. Исследование анизотропной дифракции когерентного света на периодических доменных структурах в кристалле ниобате лития
3. Исследование параметров и характеристик полупроводникового лазера.
4. Устройство ввода-вывода в планарный оптический волновод

Методические указания к лабораторным работам представлены на научно-образовательном портале ТУСУРа в разделе методических материалов каф.СВЧиКР .

7. Практические занятия

По дисциплине предусмотрено 11 двухчасовых практических занятий. На практических занятиях студентами докладываются результаты выполнения индивидуальных заданий (рефератов). Темы рефератов соответствуют темам практических занятий.

Реферат оформляется согласно требованиям ТУСУР и должен иметь титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованных источников. В списке источники (книги, статьи, патенты) приводить с указанием полных выходных данных и с номером в квадратных скобках по тексту. Оформление: формат А4, Word 2003, Times NR 12 pt, выравнивание по ширине, переносы, межстрочный единичный интервал, формулы в Equation Editor. Объём не менее 15 страниц. Время на презентацию 20-25 мин.

Темы практических занятий по разделам курса:

5.1. Электромагнитная теория когерентной оптики в фотонных материалах.

Методы расчета фотонной запрещенной зоны одномерных, двумерных и трехмерных фотонных кристаллов.

5.2. Характеристики оптических волн в слоистых структурах на фотонных материалах

Распространение и локализация света в фотонных кристаллах

5.3. Технология и материалы когерентных фотонных структур

Методы создания оптических сверхрешеток и нелинейных фотонных кристаллов.

5.4. Основы нелинейной оптики фотонных материалов

Нелинейные фотонные кристаллы.. Фазовый синхронизм при генерации второй гармоники в нелинейных фотонных кристаллах

5.5 Дифракционные и нелинейно-оптические элементы на основе фотонных материалов для систем передачи и обработки информации

Устройства оптоэлектроники на основе фотонных кристаллов.

В качестве выступления с докладом на практическом занятии засчитывается выступление студентов с докладами на научных и научно-практических конференциях, семинарах, симпозиумах.

Темы докладов на практических занятиях

1. Методы изготовления фотонных кристаллов различных размерностей
2. Методы создания оптических сверхрешеток и нелинейных фотонных кристаллов
3. Применения фотонных кристаллов
4. Управление светом при помощи света в фотонном кристалле.
5. Нелинейно-оптические эффекты в магнитофотонных кристаллах.
6. Базовые оптические и нелинейно-оптические эффекты в фотонных кристаллах и оптических сверхрешетках.
7. Методы расчета фотонной запрещенной зоны одномерных, двумерных и

трехмерных фотонных кристаллов.

8. Генерация второй и третьей гармоники в условиях фазового синхронизма в аперидических сверхрешетках и структурах типа Кантора и Фибоначчи

9. Генерация уединенных волн при сверхизлучении в фотонном кристалле

10. Компрессия сверхкоротких лазерных импульсов в фотонных кристаллах.

11. Устройства оптоэлектроники на основе фотонных кристаллов.

12. Оптические сверхрешетки.

8. Список вопросов и тестовых заданий к дифференцированному зачету

Подготовка к экзамену способствует систематизации, обобщению и закреплению знаний студентов, устранению пробелов, возникающих в процессе учебных занятий. Экзамен может проводиться либо в виде устного опроса по вопросам, сформулированным ниже, либо в виде выполнения тестовых заданий.

Список вопросов дифференцированного зачета

1. Определение и базовые понятия о микроструктурах с фотонной запрещенной зоной - фотонная зона Бриллюэна, закон дисперсии, фотонная зонная структура, фотонная запрещенная зона.
2. Модовая структура оптического поля внутри фотонных кристаллов
3. Волновое уравнение и задача о модовой структуре поля, фазовая и групповая скорости, плотность фотонных состояний.
4. Аналогии фотонных кристаллов с твердым телом. Дефекты (вакансии и примеси) в фотонных кристаллах.
5. Подавление спонтанного излучения атомов внутри фотонных кристаллов.
6. Управление спектром нулевых вакуумных флуктуации.
7. Лэмбовский сдвиг в фотонных кристаллах.
8. Гигантская оптическая дисперсия и аномальная групповая скорость.
9. Компрессия сверхкоротких лазерных импульсов в фотонных кристаллах.
10. Эффекты локализации электромагнитного поля и управление фотонной

запрещенной зоной.

11. Локализация света в фотонных кристаллах с дефектами.
12. Распространение света в квазипериодичных фотонных кристаллах.
13. Квазикристаллы типа Фибоначчи.
14. Компрессия и декомпрессия сверхкоротких лазерных импульсов в квазикристаллах.
15. Биение мод и аномально малая групповая скорость.
16. Основные материалы для изготовления фотонных кристаллов
17. Примеры одномерных фотонных кристаллов. Брэгговские зеркала, микрорезонаторы, одномерные волноводы.
18. Двумерные фотонные кристаллы.
19. Трехмерные фотонные кристаллы. Опалы, инвертированные опалы, самоагрегирующийся латекс
20. Методы создания оптических сверхрешеток и нелинейных фотонных кристаллов.
21. Периодические и квазипериодические доменные структуры.
22. Понятие о нелинейных фотонных кристаллах.
23. Двумерный фазовый синхронизм при генерации второй гармоники в нелинейных фотонных кристаллах.
24. Двумерная нелинейная дифракция в нелинейных фотонных кристаллах.
25. Оптические сверхрешетки.
26. Параметрическое взаимодействие волн, фазовый синхронизм при генерации второй гармоники, суммарной и разностной частоты в оптических сверхрешетках.
27. Нелинейные квазикристаллы и аперидические оптические сверхрешетки.
28. Генерация второй и третьей гармоники в условиях фазового синхронизма в аперидических сверхрешетках..
29. Устройства оптоэлектроники на основе фотонных кристаллов.
30. Оптические диоды и транзисторы.
31. Дырчатые волокна. Микролазеры без инверсии населенности.

32. Оптические переключатели и мультиплексоры.
33. Магнитооптические модуляторы света. Электромагнитные кристаллы для ИК и СВЧ областей
34. Фононные кристаллы. Спиновые (магнитные) кристаллы. Плазмонные кристаллы..

Тестовые вопросы

1. Укажите диапазон длин волн видимого излучения:
- а) 380 - 780 нм;
 - б) 300 - 600 нм;
 - в) 0,4 - 0,7 нм;
 - г) 100 - 750 нм;
2. Оптическая длина луча в однородной среде:
- а) это произведение геометрической длины пути луча на показатель преломления среды;
 - б) это длина оптического вектора;
 - в) это длина оптического вектора в квадрате;
 - г) это геометрическая длина пути луча, деленная на показатель преломления среды
3. Волновой фронт представляет собой:
- а) поверхность равных амплитуд поля;
 - б) поверхность равных фаз поля;
 - в) поверхность равной комплексной амплитуды поля;
 - г) поверхность, на которой амплитуда и фазы поля постоянны.
4. Когерентными называются волны, которые имеют:
- а) одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз
 - б) одинаковую поляризацию и одинаковые амплитуды
 - в) одинаковые начальные фазы и одинаковую поляризацию
 - г) одинаковые амплитуды и одинаковые начальные фазы

5. Оптическая разность хода двух волн монохроматического света $0,5 \lambda$.

Разность фаз этих волн равна :

- а) $0,3 \pi$
- б) $0,6 \pi$
- в) $0,7 \pi$
- г) $1,0 \pi$

6. Фотонный кристалл - это

- а) твердотельная структура с периодически изменяющейся диэлектрической проницаемостью, период которой сравним с длиной волны света
- б) твердотельная структура с периодически изменяющейся диэлектрической проницаемостью период которой много больше длины волны света
- в) твердотельная структура с периодически изменяющейся диэлектрической проницаемостью период которой много меньше длины волны света

7. Фотонные кристаллы по характеру изменения коэффициента преломления можно разделить на

- а) одномерные, двумерные, трехмерные
- б) одномерные, двумерные, многомерные
- в) одномерные, двумерные
- г) одномерные, трехмерные

8. Природный фотонный кристалл - это

- а) опал
- б) рубин
- в) алмаз
- г) изумруд

9. В одномерных фотонных кристаллах коэффициент преломления периодически изменяется в:

- а) одном пространственном направлении

- б) двух пространственных направлениях
- в)) трех пространственных направлениях

10 . В двумерных фотонных кристаллах коэффициент преломления периодически изменяется в :

- а) одном пространственном направлении
- б) двух пространственных направлениях
- в)) трех пространственных направлениях

11 . В трехмерных фотонных кристаллах коэффициент преломления периодически изменяется в :

- а) одном пространственном направлении
- б) двух пространственных направлениях
- в)) трех пространственных направлениях

12. Фотонная запрещенная зона представляет собой

- а) диапазон частот, в котором распространение света запрещено во всех направлениях
- б) диапазон частот, в котором распространение света разрешено во всех направлениях
- в) диапазон частот, в котором распространение света запрещено в одном направлении

13. Если на фотонный кристалл падает фотон, обладающий энергией, соответствующей запрещенной зоне данного фотонного кристалла, то:

- а) он не может распространяться в фотонном кристалле и отражается обратно
- б) он может распространяться в фотонном кристалле
- в) он может распространяться в фотонном кристалле под определенным углом

14. Если на фотонный кристалл падает фотон, обладающий энергией, соответствующей разрешенной зоне данного фотонного кристалла, то:

- а) он не может распространяться в фотонном кристалле и отражается обратно
- б) он может распространяться в фотонном кристалле
- в) он может распространяться в фотонном кристалле под определенным углом

15. Сверхрешетка - это

- а) структура, в которой искусственно создано дополнительное поле с периодом, на порядки превышающим период основной решетки
- б) структура, в которой искусственно создано дополнительное поле с периодом, на порядки меньшим периода основной решетки
- в) структура, в которой искусственно создано дополнительное поле с периодом, равным периоду основной решетки

16. Продольный магнитооптический эффект Фарадея заключается в том, что

а) при прохождении линейно-поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света.

б) при прохождении линейно-поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, свет становится эллиптически поляризованным

в) при прохождении линейно-поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, свет приобретает круговую поляризацию

17. Магнитооптический эффект Керра заключается в том, что

а) при отражении линейно поляризованного света от поверхности намагниченного материала наблюдается вращение плоскости поляризации света, а свет становится эллиптически поляризован.

б) при отражении линейно поляризованного света от поверхности намагниченного материала наблюдается вращение плоскости поляризации света

в) при отражении линейно поляризованного света от поверхности намагниченного материала наблюдается свет становится эллиптически поляризован.

18. Голографический метод создания одномерных фотонных кристаллов заключается в

- а) интерференции двух когерентных волн, создающих периодическое распределение интенсивности электрического поля в среде
- б) интерференции многих когерентных волн, создающих периодическое распределение интенсивности электрического поля в среде
- в) взаимодействии некогерентных световых волн в среде

19. Линейная оптика – это

- а) оптика слабых световых пучков, поле которых недостаточно для заметного изменения оптических свойств среды
- б) оптика сильных световых пучков, поле которых достаточно для заметного изменения оптических свойств среды
- в) оптическое взаимодействие некогерентных световых волн

20. Нелинейная оптика – это

- а) оптика слабых световых пучков, поле которых недостаточно для заметного изменения оптических свойств среды
- б) оптика сильных световых пучков, поле которых достаточно для заметного изменения оптических свойств среды
- в) оптическое взаимодействие некогерентных световых волн

7. Контрольные этапы и их максимальный рейтинг

Методика текущего контроля освоения дисциплины осуществляется в соответствии с Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов и основана на бально-рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г., которая включает текущий контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга и итоговый контроль.

Итоговый контроль освоения дисциплины осуществляется на экзамене по традиционной пятибалльной шкале. Обязательным условием перед сдачей зачета является выполнение студентом необходимых по рабочей программе для дисциплины видов занятий: выполнение и защита результатов лабораторных работ, выполнение рефератов и выступление с докладами на их основе на практических занятиях.

Формирование итоговой суммы баллов осуществляется путем суммирования семестровой (до 70 баллов) и экзаменационной составляющих (до 30 баллов).

Формирование итоговой суммы баллов осуществляется путем суммирования семестровой (до 70 баллов) и зачетной составляющих (до 30 баллов).

Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Элемент учебной деятельности	Максимальный балл за 1 КТ	Максимальный балл между 1 и 2 КТ	Максимальный балл за 2 КТ	Всего
Тест	8	8	8	24
Дифференцированный зачет	0	0	30	30
Отчет по лабораторной работе	0	8	8	16
Выступление (доклад) на занятии	10	10	10	30
Итого:	18	26	56	100

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах : Учебное пособие / Шандаров В. М., Мандель А. Е., Шандаров С. М., Буримов Н. И. - 2012. 244 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/1553>
2. Введение в нелинейную оптику: Учебное пособие / Шандаров С. М. - 2012. 41 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/2059>

Дополнительная литература

1. Взаимодействие световых полей с волноводными и дифракционными структурами в фотополимерно-жидкокристаллических и фоторефрактивных средах: Монография / Шарангович С. Н., Шандаров В. М., Перин А. С., Семкин А. О. - 2016.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/monographies/71>
2. Белотелое В.И. Фотонные кристаллы и другие метаматериалы. /Белотелое В.И., Звездин А.К. Библиотечка «Квант». Вып. 94. Приложение к журналу «Квант», 2006. - № 2: В другом месте,

Обязательные учебно-методические пособия

1. Исследование изотропной дифракции света на периодической доменной структуре в кристалле ниобата лития: Методические указания к лабораторной работе / Мандель А. Е., Казак И. К., Яковлева А. Ю. - 2018. 15 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/8047>
изменить удалить
2. Исследование анизотропной дифракции света на периодической доменной структуре в кристалле ниобата лития: Методические указания к лабораторной работе / Мандель А. Е., Казак И. К., Яковлева А. Ю. - 2018. 17 с.:

Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/8048>
изменить удалить

3. Устройство ввода-вывода излучения в планарный оптический волновод:
Методические указания к лабораторной работе / Мандель А. Е., Перин А. С. -
2018. 20 с.: Научно-образовательный портал
ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/8052>

изменить удалить

4. Исследование параметров и характеристик полупроводникового лазера:
Методические указания к лабораторной работе / Мандель А. Е., Акрестина А.
С., Буримов Н. И. - 2018. 15 с.: Научно-образовательный портал
ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/8051>

изменить удалить