

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТООПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

2012

Шандаров Станислав Михайлович

Оптические и акустооптические методы обработки информации = Физические основы квантовой и оптической электроники: Методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / С.М. Шандаров. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 22 с.

Целью преподавания дисциплины «Оптические и акустооптические методы обработки информации» является ознакомление бакалавров с общими физическими принципами фурье-оптики, акустооптики и динамической голографии и освоение студентами методов, используемых при разработке, расчете, эксплуатации и исследованиях оптических, голографических, акустооптических устройств и систем обработки, хранения и передачи информации.

Предназначено для студентов очной, очно-заочной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Оптические и акустооптические методы обработки информации».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2012 г.

ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТООПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик
докт. физ.-мат. наук, проф.
каф.ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2012 г.

Содержание

Введение.....	5
Раздел 1 Введение. Фурье-оптика	5
1.1 Содержание раздела	5
1.2 Методические указания по изучению раздела	6
Раздел 2 Оптические транспаранты	6
2.1 Содержание раздела	6
2.2 Методические указания по изучению раздела	7
2.3 Вопросы для самопроверки	7
Раздел 3 Дифракция света на акустических волнах	7
3.1 Содержание раздела	7
3.2 Методические указания по изучению раздела	8
3.3 Вопросы для самопроверки	8
Раздел 4 Фоторефрактивный эффект и динамическая голография	9
4.1 Содержание раздела	9
4.2 Методические указания по изучению раздела	9
4.3 Вопросы для самопроверки	9
Раздел 5 Устройства обработки и хранения информации на основе методов фурье-оптики, акустооптики и динамической голографии	11
5.1 Содержание раздела	11
5.2 Методические указания по изучению раздела	11
5.3 Вопросы для самопроверки	11
6 Лабораторные работы	12
7 Темы для самостоятельного изучения	13
8 Тестовые задачи	13
Заключение	18
Рекомендуемая литература	20

Введение

Целью преподавания дисциплины «Оптические и акустооптические методы обработки информации» является ознакомление бакалавров с общими физическими принципами фурье-оптики, акустооптики и динамической голографии и освоение студентами методов, используемых при разработке, расчете, эксплуатации и исследованиях оптических, голографических, акустооптических устройств и систем обработки, хранения и передачи информации.

Задачей дисциплины «Оптические и акустооптические методы обработки информации» является приобретение студентами знаний в области физических основ фурье-оптики, акустооптики и динамической голографии, освоение подходов к построению, расчету и реализации оптических, акустооптических и голографических устройств и систем обработки и хранения информации, приобретение навыков оценки их основных характеристик и определения параметров.

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами по дисциплинам:

1. «Физика» (электричество и магнетизм, колебания и волны, оптика, квантовая физика).
2. «Оптическая физика» (уравнения Максвелла, дифракция света, оптика неоднородных сред, оптика анизотропных сред, нелинейная оптика, основы квантовой оптики).
3. «Основы фотоники» (источники сплошного и линейчатого спектра, источники когерентного излучения, устройства управления характеристиками когерентных пучков, приемники излучения).
4. «Физика твердого тела» (симметрия структуры и свойств твердых тел, колебания решеток и неупорядоченных структур, электронные возбуждения в твердых телах и их оптические свойства, дефекты в кристаллах).
5. «Методы математической физики / Уравнения оптофизики» (волновое уравнение, уравнение Лапласа, уравнение Пуассона, уравнение Шрёдингера).

Раздел 1 Введение. Фурье-оптика

1.1 Содержание раздела

Предмет дисциплины и её задачи. Предмет Фурье-оптики. Достоинства оптических методов обработки информации. Преобразование Фурье в когерентной оптической системе. Прямое и обратное преобразование Фурье в оптической системе. Интегральные и спектральные преобразования в оптических системах. Интегрирование двумерных функций, фильтрация, подавление постоянной составляющей, дифференцирование. Вычисление функций свертки и корреляции. Согласованная фильтрация.

1.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Введение. Фурье-оптика» следует обратить внимание на подходы к описанию преобразованию световых полей когерентной оптической системой, на различия оптических изображений и их пространственных спектров, на прикладные и исследовательские задачи, решаемые с помощью методов прямого и обратного преобразования Фурье в оптических системах и устройствах.

1.3. Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные достоинства оптических методов обработки информации и чем они обусловлены?
2. Нарисуйте схему когерентной оптической системы, используемой для реализации преобразования Фурье; поясните, где находятся сигнальная и спектральная плоскости.
3. Запишите выражение, связывающее световые поля в фокальных плоскостях положительной линзы.
4. Нарисуйте схему когерентной оптической системы, в которой выполняются прямое и обратное преобразования Фурье. Как изменится двумерный оптический сигнал в выходной плоскости такой системы?
5. Сконструируйте когерентное оптическое устройство, вычисляющее интегралы от двумерных функций, и нарисуйте его схему.
6. Как реализовать пространственную фильтрацию двумерных оптических изображений?
7. Как можно реализовать оптическую систему, вычисляющие функции свертки и корреляции двумерных функций?
8. Поясните суть метода согласованной фильтрации.
9. Нарисуйте схему, поясняющую голографический способ создания согласованного фильтра.
10. Нарисуйте оптическую схему, осуществляющую согласованную фильтрацию двумерного оптического сигнала, и поясните особенности её реализации.

Раздел 2 Оптические транспаранты

2.1 Содержание раздела

Фотопленка как оптический транспарант. Характеристики фотопленки. Фотополимеры, фоторефрактивные и фотохромные материалы, фототермопластики, как оптические транспаранты. Акустооптический модулятор как оптический транспарант.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Оптические транспаранты» следует обратить внимание на основные характеристики и свойства оптических материалов, используемых для создания оптических транспарантов и на способы преобразования радиосигналов в оптическую функцию пропускания транспаранта в реальном масштабе времени.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое модуляционная характеристика фотопленки?
2. Что такое кривая почернения фотопленки и коэффициент контрастности фотопленки?
3. Какой участок кривой почернения и фотопленку с каким коэффициентом контрастности необходимо использовать для голографической реализации согласованного фильтра?
4. Что такое фазовая характеристика фотопленки? Как можно скорректировать случайные колебания фазы световой волны, вызванные неоднородностью фотопленки, при реализации оптических транспарантов?
5. Что такое пространственно-частотная характеристика фотоматериала для оптических транспарантов? Каким параметром можно её характеризовать?
6. Что такое чувствительность фотоматериала и в каких единицах она выражается?
7. На каких физических и химических явлениях основана запись оптической информации в фотополимерных материалах?
8. Каковы физические явления, используемые для записи и стирания записанной оптической информации в фотохромных материалах?
9. С какими физическими явлениями связана запись голограмм в фоторефрактивных кристаллах?
10. Как реализуется запись оптических изображений в фототермопластиках?
11. На каких физических явлениях основано применение акустооптических модуляторов в качестве динамических оптических транспарантов?

Раздел 3 Дифракция света на акустических волнах

3.1 Содержание раздела

Качественный анализ дифракции света на акустических волнах. Условия синхронизма, угол Брэгга, возможные применения, аномальная и коллинеарная дифракция. Дифракция Рамана-Ната. Дифракция Брэгга в изотропной среде, метод волнового уравнения. Постановка задачи, вывод

уравнений связанных волн, анализ выражений для дифрагированного светового поля. Эффективность дифракции Брэгга. Коэффициент акустооптического качества среды M_2 . Зависимость эффективности дифракции от акустической мощности и размеров пьезопреобразователя. Частотная зависимость акустооптического взаимодействия. Автоподстройка угла Брэгга фазированными преобразователями акустических волн. Аномальная дифракция с широкополосной геометрией.

3.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Дифракция света на акустических волнах» следует обратить внимание на качественное описание дифракции света на акустических волнах, на метод волнового уравнения, на подходы к решению уравнений связанных волн, на технические характеристики акустооптических модуляторов и методы их оптимизации.

3.3 Вопросы для самопроверки

1. Запишите условия синхронизма при акустооптическом взаимодействии и поясните их физический смысл.
2. Нарисуйте диаграмму волновых векторов для дифракции Брэгга в изотропной среде; выведите на её основе соотношение для угла Брэгга.
3. Выразите угол дифракции через частоту световых волн, поясните все обозначения.
4. Перечислите основные явления при дифракции света на акустических волнах, имеющие прикладное значение.
5. Что такое аномальная (анизотропная) дифракция? В каких средах она наблюдается?
6. Что такое коллинеарная дифракция, для чего она может быть использована?
7. Каковы основные особенности дифракции Рамана-Ната?
8. Опишите постановку задачи в методе волнового уравнения, используемого для анализа брэгговской дифракции света на акустических волнах.
9. Опишите основные этапы и приближения, используемые при выводе уравнений связанных волн в методе волнового уравнения.
10. Запишите уравнения связанных волн, описывающие дифракцию света на монохроматической акустической волне, поясните их физический смысл.
11. Опишите подход к решению уравнений связанных волн при дифракции света на акустических волнах.
12. Запишите выражение для эффективности дифракции Брэгга, отражающее её частотную зависимость. Поясните все обозначения.

13. Что характеризует коэффициент акустооптического качества среды M_2 ? Какие акустооптические материалы характеризуются высокими значениями M_2 ?

14. В чем заключается способ автоподстройки угла Брэгга фазированными преобразователями акустических волн? Как его можно реализовать?

15. Каковы особенности аномальной дифракции с широкополосной геометрией?

Раздел 4 Фоторефрактивный эффект и динамическая голография

4.1 Содержание раздела

Качественное описание основных эффектов динамической голографии. Интерференция световых пучков, основные физические процессы при формировании динамических голограмм, основные эффекты динамической голографии. Модель зонного переноса. Схема уровней, система материальных уравнений. Анализ фоторефрактивного эффекта в приближении малых контрастов интерференционной картины. Диффузионный механизм записи фоторефрактивной решетки. Формирование фоторефрактивной решетки в постоянном и знакопеременном внешних электрических полях. Самодифракция световых волн на фоторефрактивных голограммах. Уравнения связанных волн. Приближение неистощаемой накачки. Самодифракция световых волн на фоторефрактивной решетке при локальном и нелокальном типах нелинейного отклика.

4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Фоторефрактивный эффект и динамическая голография» следует обратить внимание на физические явления, позволяющие записывать динамические голограммы в фоторефрактивных кристаллах; на физическое описание фоторефрактивных явлений в рамках одноуровневой модели зонного переноса и их математическое описание; на особенности диффузионного механизма перераспределения зарядов и на особенности дрейфовых механизмов; на эффекты перекачки фаз и амплитуд световых волн при их двухволновом взаимодействии; на подходе к описанию эффектов самодифракции на основе уравнений связанных волн; на приближении неистощаемой накачки.

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Запишите выражение для распределения интенсивности в интерференционной картине двух плоских световых волн. Поясните все обозначения.

2. Перечислите основные эффекты динамической голографии и дайте им краткую характеристику.

3. Нарисуйте энергетическую диаграмму фоторефрактивного кристалла для одноуровневой модели зонного переноса и поясните физические эффекты, наблюдаемые в таком кристалле при неоднородном освещении.

4. Запишите полную систему уравнений, которая позволяет описать фотоиндуцированное перераспределение пространственного заряда в рамках одноуровневой модели зонного переноса. Поясните все обозначения.

5. В чем суть приближения малых контрастов интерференционной картины, и для чего оно используется?

6. Запишите уравнение, описывающее временную эволюцию для первой гармоники поля пространственного заряда в приближении малых контрастов, квазинепрерывного освещения и низкочастотного внешнего поля. Поясните все обозначения.

7. Нарисуйте примерную зависимость амплитуды поля пространственного заряда от периода фоторефрактивной решетки, для диффузионного механизма переноса заряда. При каком соотношении между диффузионным полем и полем насыщения ловушек эта зависимость имеет максимум?

8. Каковы особенности формирования фоторефрактивных голограмм в приложенном к кристаллу постоянном внешнем поле?

9. Каковы особенности формирования фоторефрактивных голограмм в приложенном к кристаллу знакопеременном внешнем поле?

10. Запишите уравнения связанных волн, описывающих самодифракцию световых пучков на фоторефрактивной решетке. Поясните все обозначения.

11. Получите решение уравнений связанных волн в приближении неистощаемой накачки; поясните особенности используемого при этом подхода.

12. Опишите суть подхода, используемого для перехода от уравнений связанных волн к системе уравнений для интенсивностей взаимодействующих световых волн, в случае нелокального отклика.

13. Запишите соотношение для интенсивности сигнальной волны, взаимодействующей с волной накачки на фоторефрактивной решетке при нелокальном отклике, с учетом истощения накачки. Поясните все обозначения.

14. Поясните термины «перекачка мощности» и «перекачка фазы».

Раздел 5 Устройства обработки и хранения информации на основе методов фурье-оптики, акустооптики и динамической голографии

5.1 Содержание раздела

Одноканальные, двухканальные и многоканальные акустооптические анализаторы спектра радиосигналов. Акустооптические устройства для спектральной фильтрации оптического излучения. Голографические системы оптической памяти и распознавания образов. Адаптивные голографические корреляторы и интерферометры на основе фоторефрактивных кристаллов.

5.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Устройства обработки и хранения информации на основе методов фурье-оптики, акустооптики и динамической голографии» следует обратить внимание на связь предыдущих разделов дисциплины с основами конструирования, проектирования и эксплуатации прикладных устройств и систем фотоники различного назначения.

5.3 Вопросы для самопроверки

1. Нарисуйте примерную схему одноканального акустооптического анализатора спектра радиосигналов. Поясните назначение его элементов и основные принципы функционирования.
2. Опишите достоинства одноканального акустооптического анализатора спектра радиосигналов перед традиционными радиотехническими устройствами такого же назначения.
3. Опишите принцип действия двухканального анализатора спектра радиосигналов и поясните, какие характеристики он анализирует.
4. Опишите принцип действия многоканального анализатора спектра радиосигналов.
5. Нарисуйте схему перестраиваемого акустооптического спектрального фильтра и поясните его принцип действия.
6. Нарисуйте примерную схему устройства для считывания информации в голографической системе оптической памяти.
7. Поясните принцип голографической системы распознавания оптических изображений.
8. Поясните физические принципы, используемые в адаптивных голографических корреляторах на фоторефрактивных кристаллах.
9. Поясните принцип голографической интерферометрии при встречном взаимодействии световых волн в фоторефрактивных кристаллах, одна из которых является фазово-модулированной.

10. Нарисуйте примерную схему адаптивного голографического интерферометра, предназначенного для измерения амплитуды механических колебаний отражающих объектов.

6 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы, студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они знакомятся с установкой, уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания, по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным. Анализ результатов является важной частью отчета.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Пространственная фильтрация оптических изображений
2. Исследование дифракции Фраунгофера

3. Исследование фильтра Вандер Люгта
4. Исследование планарного акустооптического модулятора
5. Изучение основных явлений интерференции света с помощью интерферометра Майкельсона
6. Исследование электрооптического эффекта в нелинейных оптических кристаллах на базе интерферометра Маха-Цендера
7. Изучение электрооптического эффекта в интерферометре Жамена
8. Исследование динамики двухпучкового взаимодействия на динамических отражательных голограммах в кристаллах силленитов
9. Исследование амплитудной характеристики адаптивного голографического интерферометра в широком динамическом диапазоне

7 Темы для самостоятельного изучения

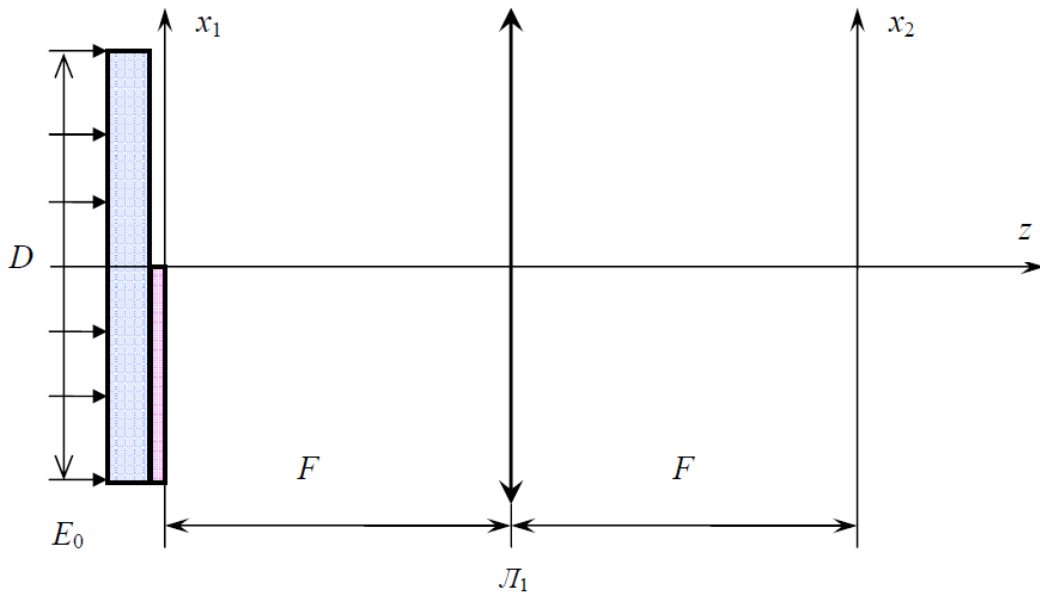
Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение ниже предложенных тем.

1. Преобразование фазовой модуляцию в амплитудную при спектральных преобразованиях в оптических системах
 2. Запись голограмм в фотохромных материалах
 3. Дифракция Брэгга в анизотропной среде
 4. Аномальная дифракция с широкополосной геометрией
 5. Двухуровневая модель зонного переноса и фотоиндуцированное поглощение света в фоторефрактивных кристаллах
 6. Обращение волнового фронта световых пучков при четырехволновом взаимодействии в фоторефрактивных кристаллах
 7. Встречное взаимодействие световых волн в кубических фоторефрактивных гиротропных кристаллах
 8. Двухканальные акустооптические анализаторы спектра радиосигналов
 9. Голографические системы распознавания образов
 10. Акустооптические дефлекторы
 11. Адаптивные голографические интерферометры на основе встречного взаимодействия в кубических фоторефрактивных кристаллах
 12. Акустооптические спектральные фильтры
- Студент защищает реферат по одной выбранной им теме.

8 Тестовые задачи

1. Найдите распределение поля в когерентной оптической системе в спектральной плоскости, если в сигнальной плоскости помещен транспарант, состоящий из стеклянной пластины и диэлектрической

пленки с толщиной h и показателем преломления n , причем пленка расположена при $x_1 \leq 0$. Апертура светового пучка равна D вдоль оси x_1 и не ограничена вдоль оси y_1 .



2. Провести анализ распределения амплитуды и интенсивности света в спектральной плоскости для рассмотренной в предыдущей задаче 1 когерентной оптической системы при $h = \lambda / [2(n-1)]$, $\lambda = 650$ нм, $D = 6,5$ мм и $F = 20$ см.

3. Найдите распределение поля в когерентной оптической системе в спектральной плоскости, если в сигнальной плоскости помещен транспарант, представляющий тонкий непрозрачный экран с отверстием прямоугольной формы, центр которого расположен при $x_1=0$ и $y_1=0$. Размеры экрана составляют $a = 2$ мм по оси x_1 и $b = 0,2$ мм по оси y_1 . Проведите анализ распределения амплитуды и интенсивности света в спектральной плоскости для $\lambda = 650$ нм и $F = 40$ см.

4. Найдите распределение поля в когерентной оптической системе в спектральной плоскости, если в сигнальной плоскости при $x_1 = \pm x_0$ находятся два точечных источника света. Проведите анализ распределения амплитуды и интенсивности света в спектральной плоскости для $x_0 = 100$ мкм, $\lambda = 650$ нм и $F = 10$ см.

5. Найдите распределение поля в когерентной оптической системе в спектральной плоскости, если в сигнальной плоскости помещен транспарант, представляющий тонкий непрозрачный экран с двумя одинаковыми отверстиями прямоугольной формы, центры которых

расположены при $y_1 = \pm d_0 = \pm 1$ мм, а размеры отверстий равны $a = 4$ мм по оси x_1 и $b = 0,2$ мм по оси y_1 . Проведите анализ распределения амплитуды и интенсивности света в спектральной плоскости для $\lambda = 650$ нм и $F = 20$ см.

6. He-Ne лазер, генерирующий непрерывное излучение с длиной волны 633 нм и мощностью 10 мВт, используется для записи голограммы на фотопластинке с размерами 6×9 см², имеющую чувствительность фотоэмульсионного слоя 10^{-4} нДж/мкм². Оцените время, необходимое для экспонирования фотопластинки при записи голограммы излучением данного лазера.

7. Отражательная голограмма формируется на фотопластинке с чувствительностью фотоэмульсионного слоя 10^{-3} нДж/мкм², имеющей размеры 9×12 см², моноимпульсным излучением твердотельного лазера с длиной волны 532 нм и длительностью импульса 10 нс. Оцените необходимую энергию и среднюю мощность данного лазера, которые обеспечат запись голограммы на всей площади фотопластинки.

8. Падающий под углом Брэгга световой пучок с длиной волны 1.06 мкм дифрагирует на акустической волне с частотой 0.5 ГГц, распространяющейся со скоростью $4,8 \cdot 10^3$ м/с в светозвукопроводе, изготовленном из изотропного материала с показателем преломления $n = 2,2$. Определите угол, на который отклоняется дифрагированный пучок от падающего, в светозвукопроводе и вне его.

9. В акустооптическом спектральном фильтре используется коллинеарная дифракция света на сдвиговой акустической волне, распространяющейся вдоль оси Y одноосного кристалла со скоростью $4 \cdot 10^3$ м/с. Определите диапазон частот акустической волны, при котором максимум пропускания фильтра можно перестраивать от 400 до 750 нм, если обыкновенный и необыкновенный показатели преломления кристалла равны 2,2868 и 2,202, соответственно.

10. В акустооптическом модуляторе на основе оптически отрицательного одноосного кристалла с обыкновенным и необыкновенным показателями преломления, равными соответственно 2,2868 и 2,202 на используемой длине волны 633 нм, аномальная дифракция света с широкополосной геометрией происходит на сдвиговой акустической волне, распространяющейся вдоль оптической оси Z со скоростью $3,58 \cdot 10^3$ м/с. Найдите центральную частоту для данного типа дифракции; нарисуйте диаграмму волновых векторов взаимодействующих волн, соответствующую этой частоте.

11. Рассчитайте значение коэффициента качества M_2 для акустооптического материала с показателем преломления $n=2,2$ и плотностью $\rho=4,64$ г/см³ для взаимодействия с акустической волной, имеющей скорость распространения $v_a = 4 \cdot 10^3$ м/с, при значении эффективной фотоупругой постоянной $p_{eff}=0,25$.

12. Рассчитайте частотную зависимость эффективности дифракции для акустооптического модулятора с размером пьезопреобразователя $d=3$ мм вдоль направления распространения света, с центральной частотой $f_0=250$ МГц, скоростью распространения продольной акустической волны $v_a = 6,4 \cdot 10^3$ м/с и показателем преломления $n_0=2,2$ на рабочей длине волны $\lambda = 650$ нм.

13. Рассчитайте максимальную эффективность дифракции Брэгга в акустооптическом модуляторе с параметрами $M_2=10^{-17}$ с³/кг, $d=3$ мм, $h=0,5$ мм, $P_a=100$ мВт, на длине волны $\lambda = 650$ нм.

14. Две плоские монохроматические волны 1 и 2 с длиной волны $\lambda = 500$ нм и амплитудами $E_{m1}=10$ В/м и $E_{m2}=100$ В/м, поляризованные в плоскости XU , распространяются в немагнитной среде с коэффициентом преломления $n = 2$. Волновые векторы волн \vec{k}_1 и \vec{k}_2 ориентированы в плоскости XU и составляют с осью $+X$ углы $\theta_1=10^\circ$ и $\theta_2=-10^\circ$, соответственно. Запишите выражения для распределения электрического поля в среде, используя комплексную форму записи.

15. Используя выражение для распределения электрического поля, полученное в предыдущей задаче 14, найдите распределение интенсивности светового поля в среде и проведите его анализ: Определите направление волнового вектора интерференционной картины, её контраст и пространственный период.

16. В кристалле титаната висмута, имеющем относительную статическую диэлектрическую проницаемость $\epsilon_r = 47$, интерференционной картиной с контрастом $m = 2 \cdot 10^{-4}$ создано распределение ионизированных доноров $N_D^+(x) = N_{D0}^+ + N_{Dm}^+ \sin(Kx)$ с амплитудой первой пространственной гармоники $N_{Dm}^+ = 2 \cdot 10^{20}$ м⁻³ и периодом $\Lambda = 1$ мкм. Найдите распределение электрического поля в кристалле и амплитуду его первой пространственной гармоники.

17. В кристалле ниобата лития, легированном Fe и имеющем относительную статическую диэлектрическую проницаемость $\epsilon_r = 29$, при записи отражательной фазовой голограммы создано распределение

электрического поля $E(z) = E_{ph0} + E_1 \cos(Kz)$, с амплитудой первой пространственной гармоники $E_1 = 10$ кВ/см и пространственным периодом 116 нм. Найдите распределение концентрации ионизированных доноров в этом кристалле и амплитуду первой пространственной гармоники в найденном распределении.

18. В кристалле силиката висмута с полной концентрацией доноров $N_D = 10^{25}$ м⁻³ и акцепторов $N_A = 10^{22}$ м⁻³, сечением фотоионизации $S = 1 \cdot 10^{-5}$ м²/Дж, найдите начальное значение концентрации ионизированных доноров и начальную скорость её роста, при включении в момент времени $t = 0$ опорного пучка с интенсивностью $I_0 = 100$ мВт/см².

19. В кристалле титаната висмута (класс симметрии 23) среза (100), имеющем показатель преломления $n_0 = 2.58$ и электрооптический коэффициент $r_{41} = 5$ пм/В на длине волны 633 нм, сформирована отражательная фоторефрактивная решетка с распределением электрического поля $\vec{E}^0(x) = \vec{x}^0 E^{m0} \cos(Kx)$, пространственным периодом $\Lambda = 123$ нм и амплитудой $E^{m0} = 2$ кВ/см. Найдите волновое число K и все компоненты тензора диэлектрической проницаемости данного кристалла, принимая во внимание линейный электрооптический эффект.

20. Фоторефрактивная голограмма записывается за счет диффузионного механизма в кристалле силиката висмута с показателем преломления $n_0 = 2.55$, концентрацией компенсирующих акцепторов $N_A = 10^{22}$ м⁻³, относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon^r = 56$ и эффективной электрооптической постоянной $r_{eff} = 5$ пм/В двумя когерентными световыми пучками с длиной волны 633 нм.

Определите:

1. Оптимальный пространственный период голограммы, при котором амплитуда поля пространственного заряда E_{SC} максимальна.
2. Диффузионное поле, поле насыщения насыщения ловушек и поле E_{SC} при оптимальном пространственном периоде голограммы.
3. Угол между пучками в воздухе, при котором реализуется голограмма с оптимальным пространственным периодом.
4. Экспоненциальный коэффициент двухпучкового усиления для оптимального пространственного периода.

21. Встречное взаимодействие световой волны накачки (Р) с правой круговой поляризацией, распространяющейся вдоль оси x , и сигнальной волны (S) с левой круговой поляризацией, распространяющейся в противоположном направлении в фоторефрактивном кристалле симметрии 23 среза (111), описывается следующими уравнениями для комплексных амплитуд:

$$\frac{dC_{S1}}{dx} = -\frac{1}{4}\Gamma_{ph} m C_{P2} \exp(-\alpha x),$$

$$\frac{dC_{P2}}{dx} = -\frac{1}{4}\Gamma_{ph} m^* C_{S1} \exp(\alpha x),$$

где контраст интерференционной картины определяется как

$$m(x) = \frac{2C_{S1}C_{P2}^*}{|C_{P2}|^2 \exp(-\alpha x) + |C_{S1}|^2 \exp(\alpha x)},$$

Γ_{ph} - коэффициент двухпучкового усиления и α - коэффициент оптического поглощения кристалла.

Выведите систему уравнений для интенсивностей взаимодействующих волн.

22. В одноканальном акустооптическом анализаторе спектра используется дифракция Брэгга на сдвиговой акустической волне, распространяющейся в светозвукопроводе со скоростью $v_a = 3,58 \cdot 10^3$ м/с, полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda = 650$ нм и линейка фотодиодов с расстоянием между отдельными элементами 20 мкм. Найдите фокусное расстояние линзы, обеспечивающей анализ спектра с частотным разрешением $\delta f = 1$ МГц.

Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо знать ответы, как минимум, на следующие вопросы.

1. Запишите выражение, связывающее световые поля в фокальных плоскостях положительной линзы. Поясните все обозначения.
2. Нарисуйте схему когерентной оптической системы, в которой выполняются прямое и обратное преобразования Фурье. Как изменится двумерный оптический сигнал в выходной плоскости такой системы?
3. Как реализовать пространственную фильтрацию двумерных оптических изображений?
4. Поясните суть метода согласованной фильтрации.
5. Нарисуйте схему, поясняющую голографический способ создания согласованного фильтра.
6. Что такое модуляционная характеристика фотопленки?
7. Что такое кривая почернения фотопленки и коэффициент контрастности фотопленки?
8. Что такое чувствительность фотоматериала и в каких единицах она выражается?
9. На каких физических и химических явлениях основана запись оптической информации в фотополимерных материалах?

10. Каковы физические явления, используемые для записи и стирания записанной оптической информации в фотохромных материалах?

11. Как реализуется запись оптических изображений в фототермопластиках?

12. На каких физических явлениях основано применение акустооптических модуляторов в качестве динамических оптических транспарантов?

13. Запишите условия синхронизма при акустооптическом взаимодействии и поясните их физический смысл.

14. Нарисуйте диаграмму волновых векторов для дифракции Брэгга в изотропной среде; выведите на её основе соотношение для угла Брэгга.

15. Перечислите основные явления при дифракции света на акустических волнах, имеющие прикладное значение.

16. Что такое аномальная (анизотропная) дифракция? В каких средах она наблюдается?

17. Что такое коллинеарная дифракция, для чего она может быть использована?

18. Запишите уравнения связанных волн, описывающие дифракцию света на монохроматической акустической волне, поясните их физический смысл.

19. Что характеризует коэффициент акустооптического качества среды M_2 ?

20. В чем заключается способ автоподстройки угла Брэгга фазированными преобразователями акустических волн? Как его можно реализовать?

21. Перечислите основные эффекты динамической голографии и дайте им краткую характеристику.

22. Нарисуйте энергетическую диаграмму фоторефрактивного кристалла для одноуровневой модели зонного переноса и поясните физические эффекты, наблюдаемые в таком кристалле при неоднородном освещении.

23. В чем суть приближения малых контрастов интерференционной картины, и для чего оно используется?

24. Нарисуйте примерную зависимость амплитуды поля пространственного заряда от периода фоторефрактивной решетки, для диффузионного механизма переноса заряда. При каком соотношении между диффузионным полем и полем насыщения ловушек эта зависимость имеет максимум?

25. Запишите уравнения связанных волн, описывающих самодифракцию световых пучков на фоторефрактивной решетке. Поясните все обозначения.

26. Поясните термины «самодифракция», «перекачка мощности» и «перекачка фазы».

27. Нарисуйте примерную схему одноканального акустооптического анализатора спектра радиосигналов. Поясните назначение его элементов и

основные принципы функционирования.

28. Нарисуйте схему перестраиваемого акустооптического спектрального фильтра и поясните его принцип действия.

29. Поясните принцип голографической интерферометрии при встречном взаимодействии световых волн в фоторефрактивных кристаллах, одна из которых является фазово-модулированной.

30. Нарисуйте примерную схему адаптивного голографического интерферометра, предназначенного для измерения амплитуды механических колебаний отражающих объектов.

Рекомендуемая литература

1. Дубнищев Ю.Н. Теория и преобразование сигналов в оптических системах : Учебное пособие. 4-е изд., испр. и доп. — СПб. : Издательство «Лань», 2011. — 368 с., ISBN 978-5-8114-1156-6, http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=698.

2. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах : монография / С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 242 с., <http://edu.tusur.ru/training/publications/1553>.

3. Информационная оптика / Под ред. Н.Н. Евтихеева. Учебное пособие – М., Издательство МЭИ, 2000. - 516 с.

4. Пуговкин А.В., Серебренников Л.Я., Шандаров С.М. Введение в оптическую обработку информации. – Томск: Изд-во ТГУ, 1981.

5. Шепелевич В.В. Введение в когерентную оптику и голографию. – Минск: Выш. шк., 1985.

6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник для ВУЗов.- М.: Высшая школа, 2001. – 574 с.

7. Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. - М.: Радио и связь, 1990. - 225 с.

8. Оптическая обработка радиосигналов в реальном времени / Под ред. Ку-лакова С.В.– М.: Радио и связь, 1989, 136 с.

9. Стурман Б.И., Фридкин В.М. Фотогальванический эффект в средах без центра симметрии и родственные явления. _ М.: Наука, 1992.

10. Взаимодействие световых волн на отражательных голографических решетках в кубических фоторефрактивных кристаллах : сборник статей / Е. Ю. Агеев [и др.] ; ред.: С. М. Шандаров, А. Л. Толстик ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 99 с.

11. Бельдюгин И.М., Золотарев М.В., Свиридов К.А. Теория и применение оптических приборов на основе четырехволнового

взаимодействия в фоторефрактивных кристаллах // Зарубежная радиоэлектроника. – 1990. - № 3. - С. 52-81; № 4. - С. 72-89.

12. С.М. Шандаров, Н.И. Буримов, Ю.Н. Кульчин, Р.В. Ромашко, А.Л. Толстик, В.В. Шепелевич. Динамические голограммы Денисюка в кубических фоторефрактивных кристаллах // Квантовая электроника. – 2008. –Т. 38, №11. – С. 1059-1069.

13. А.А. Kamshiln, R.V. Romashko, Yu.N. Kulchin. Adaptive interferometry with photorefractive crystals // J. Appl. Phys. – 2009. – V. 105. – P. 031101.

14. А.А. Колегов, С.М. Шандаров, Г.В. Симонова, Л.А. Кабанова, Н.И. Буримов, С.С. Шмаков, В.И. Быков, Ю.Ф. Каргин. Адаптивная интерферометрия, использующая динамические отражательные голограммы в кубических фоторефрактивных кристаллах // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 9. – С. 847-852.

15. Башкиров А.И., Буримов Н.И. Исследование планарного акустооптического модулятора = Интегральная и волноводная фотоника: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / А.А. Башкиров, Н.И. Буримов. – Томск: ТУСУР, 2012. – 14 с., <http://edu.tusur.ru/training/publications/1077>.

16. Двухлучевые интерферометры: методические указания к лабораторному практикуму по курсу «Оптические и акустооптические методы обработки информации» для студентов направления подготовки 200600 и 200700 «Фотоника и оптоинформатика» / О.В. Зайцева, К.П. Мельник, В.И. Быков. – Томск: ТУСУР, 2012. – 41 с., <http://edu.tusur.ru/training/publications/1722>.

17. Исследование динамики двухпучкового взаимодействия на динамических отражательных голограммах в кристаллах силленитов: Методические указания к лабораторной работе / Шандаров С. М., Шмаков С. С. – Томск: ТУСУР, 2012. – 22 с., <http://edu.tusur.ru/training/publications/1735>.

18. Исследование амплитудной характеристики адаптивного голографического интерферометра в широком динамическом диапазоне : Методические указания к лабораторной работе / Шандаров С. М., Шмаков С. С. – Томск: ТУСУР, 2012. – 16 с., <http://edu.tusur.ru/training/publications/1765>.

19. Исследование фильтра Вандер Люгта: Методические указания к лабораторной работе / Башкиров А. И. – Томск: ТУСУР, 2012. - 11 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/1818>

20. Исследование дифракции Фраунгофера: Методические указания к лабораторной работе / Башкиров А. И. – Томск: ТУСУР, 2012 - 12 с <http://edu.tusur.ru/training/publications/1816>

21. Пространственная фильтрация оптических изображений: Методические указания к лабораторной работе / Шандаров С. М., Шмаков С. С. – Томск: ТУСУР, 2012. 15 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/1821>

Учебное пособие

Шандаров Станислав Михайлович

Оптические и акустооптические методы обработки информации

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40