

# Оглавление

Список основных обозначений . . . . .	8
Предисловие . . . . .	9
<b>Глава 1. Введение в компьютерную оптику</b>	
1.1. Функциональные возможности зонированных дифракционных оптических элементов (ДОЭ) . . . . .	11
1.2. Границы зон и фазовые функции оптических элементов . . . . .	15
1.3. ДОЭ, реализуемые методами цифровой голографии . . . . .	20
1.4. Геометрооптический расчет ДОЭ . . . . .	27
1.5. Дискретизация и квантование фазы ДОЭ . . . . .	33
1.6. Компьютерное проектирование ДОЭ . . . . .	43
1.7. Заключение . . . . .	46
Литература к главе 1 . . . . .	47
<b>Глава 2. Итеративные методы расчета ДОЭ</b>	
2.1. Введение . . . . .	49
2.2. Алгоритм уменьшения ошибки . . . . .	50
2.3. Алгоритм входа-выхода . . . . .	52
2.4. Адаптивно-аддитивный алгоритм . . . . .	53
2.5. Адаптивно-мультипликативный алгоритм . . . . .	60
2.6. Адаптивно-регуляризационный алгоритм . . . . .	64
2.7. Градиентный алгоритм расчета фазы ДОЭ . . . . .	67
2.8. Применение итеративных алгоритмов для расчета ДОЭ . . . . .	71
2.8.1. Расчет ДОЭ, фокусирующих в радиально-симметричные области фурье-спектра . . . . .	71
2.8.2. Расчет дифракционных аксиконов, формирующих осевые световые отрезки . . . . .	75
2.8.3. Расчет радиально симметричных ДОЭ с квантованной фазой . . . . .	77
2.8.4. Многопорядковые фазовые бинарные дифракционные решетки . . . . .	81
2.8.5. Многоуровневые фазовые дифракционные решетки . . . . .	87
2.8.6. Фазовые ДОЭ, фокусирующие в объем и на поверхность тел вращения . . . . .	93
2.8.7. Фокусировка гауссова пучка в квадрат . . . . .	103
2.8.8. Фокусировка в кольцо . . . . .	110
2.8.9. Композиционные ДОЭ, формирующие контурные изображения . . . . .	116
2.8.10. Квантованные ДОЭ для фокусировки в заданную двумерную область . . . . .	122
2.8.11. Квантованные ДОЭ для формирования амплитудно-фазовых распределений . . . . .	134

2.9. Заключение . . . . .	137
Литература к главе 2 . . . . .	138

### Глава 3. Электромагнитный подход к расчету дифракционных оптических элементов

3.1. Дифракция на отражающих решетках со ступенчатым профилем . . . . .	142
3.2. Дифракция на отражающих решетках с непрерывным профилем . . . . .	149
3.3. Дифракция на пропускающих диэлектрических решетках . . . . .	158
3.4. Градиентные методы решения обратной задачи расчета дифракционных решеток . . . . .	175
3.4.1. Расчет отражающих решеток со ступенчатым профилем . . . . .	175
3.4.2. Расчет диэлектрических бинарных решеток . . . . .	178
3.4.3. Расчет отражающих решеток с непрерывным профилем в приближении Рэлея . . . . .	188
3.5. Дифракция на отражающих двумерных структурах . . . . .	192
3.5.1. Дифракция света на криволинейной зоне . . . . .	192
3.5.2. Дифракция на двумерной отражающей бинарной решетке . . . . .	199
3.5.3. Дифракция на двумерных пропускающих диэлектрических структурах . . . . .	201
3.6. Градиентный метод синтеза ДОЭ . . . . .	210
3.7. Асимптотический анализ дифракции на зонированных структурах . . . . .	212
3.7.1. Решение задачи дифракции на одномерных ДОЭ в скалярном приближении . . . . .	212
3.7.2. Решение задачи дифракции одномерных ДОЭ в рамках электромагнитной теории . . . . .	219
3.8. Моделирование распространения электромагнитного излучения методом конечных разностей . . . . .	223
3.9. Анализ прохождения электромагнитного импульса через антиотражающую структуру . . . . .	231
3.10. Заключение . . . . .	235
Литература к главе 3 . . . . .	236

### Глава 4. Технология создания ДОЭ

4.1. Типы фазовых микрорельефов и способы их получения . . . . .	238
4.2. Изготовление ДОЭ методами фотолитографии . . . . .	243
4.2.1. Изготовление фотошаблонов . . . . .	243
4.2.2. Экспонирование и проявление пленок фоторезиста . . . . .	250
4.2.3. Технология формирования микрорельефа ДОЭ . . . . .	253
4.3. Изготовление ДОЭ методами электронно-лучевой литографии . . . . .	262
4.4. Формирование кусочно-непрерывного микрорельефа . . . . .	268
4.4.1. Методы формирования кусочно-непрерывного микрорельефа . . . . .	268
4.4.2. Механизм рельефообразования на ЖФПК . . . . .	270
4.4.3. Определение оптимальной оптической плотности фотошаблона при рельефной записи на слоях ЖФПК . . . . .	273
4.4.4. Изготовление опытных образцов оптических элементов видимого диапазона . . . . .	275
4.5. Технология травления . . . . .	278
4.6. Формирование дифракционного рельефа с помощью лазерного микроструктурирования алмазных пленок . . . . .	281
4.7. Копирование микрорельефа ДОЭ . . . . .	287
4.8. Автоматизация экспериментальных исследований и технологических испытаний ДОЭ . . . . .	289

4.8.1. Операции и оборудование, используемые для контроля процесса создания ДОЭ . . . . .	289
4.8.2. Сканирующий зондовый микроскоп в исследовании ДОЭ . . . . .	291
4.8.3. Средства автоматизации испытаний ДОЭ . . . . .	293
4.9. Примеры синтеза ДОЭ и использования программных комплексов . . . . .	296
4.9.1. Программное обеспечение по компьютерной оптике . . . . .	296
4.9.2. Примеры синтеза ДОЭ . . . . .	300
4.10. Заключение . . . . .	305
Литература к главе 4 . . . . .	306
<b>Глава 5. Фокусаторы</b> . . . . .	<b>310</b>
5.1. Введение . . . . .	311
5.2. Геометрооптический расчет фокусаторов в линию . . . . .	319
5.3. Расчет и исследование геометрооптических фокусаторов . . . . .	320
5.3.1. Дифракционная линза . . . . .	325
5.3.2. Дифракционная цилиндрическая линза . . . . .	327
5.3.3. Фокусатор в кольцо . . . . .	334
5.3.4. Фокусатор в полукольцо . . . . .	336
5.3.5. Фокусатор в поперечный отрезок . . . . .	345
5.3.6. Составной фокусатор в крест . . . . .	347
5.3.7. Фокусатор в продольный отрезок . . . . .	350
5.4. Фокусаторы в двумерную область. Метод согласованных прямоугольников . . . . .	356
5.5. Многофокусные фокусаторы . . . . .	364
5.5.1. Многофокусные бинарные зонные пластинки . . . . .	368
5.5.2. ДОЭ с нелинейно комбинированными фазами . . . . .	370
5.6. Дифракционные многофокусные линзы . . . . .	375
5.7. Двухпорядковые фокусаторы . . . . .	378
5.8. Расчет спектральных фокусаторов . . . . .	378
5.8.1. Цветоделительные решетки . . . . .	381
5.8.2. Спектральные фокусаторы в набор одинаковых фокальных областей . . . . .	384
5.8.3. Спектральные фокусаторы в различные фокальные области . . . . .	386
5.8.4. Расчет квантованных спектральных ДОЭ . . . . .	391
5.9. Заключение . . . . .	391
Литература к главе 5 . . . . .	391
<b>Глава 6. Селекция мод лазерного излучения</b> . . . . .	<b>394</b>
6.1. Моды лазерного излучения . . . . .	394
6.1.1. Модовые пучки в скалярном приближении . . . . .	397
6.1.2. Возбуждение мод в оптических волокнах и резонаторах . . . . .	399
6.1.3. Метод комплексного эйконала . . . . .	402
6.1.4. Амплитудно-фазовые соотношения для модовых пучков в свободном пространстве . . . . .	408
6.1.5. Гауссовы и бесселевы моды . . . . .	413
6.1.6. Гауссовы моды в пассивных резонаторах и градиентных волокнах . . . . .	414
6.2. Формирование и селекция мод лазерного излучения с помощью ДОЭ . . . . .	414
6.2.1. Постановка задачи синтеза ДОЭ, согласованных с модами лазерного излучения . . . . .	417
6.2.2. Методы расчета фазовых моданов . . . . .	417
6.2.3. Расчет одномодовых моданов . . . . .	419
6.2.4. Построение итеративной процедуры расчета одномодового модана . . . . .	419

6.2.5.	Быстрый расчет ДОЭ, формирующего заданное одномодовое распределение радиальных мод	422
6.2.6.	Расчет ДОЭ, формирующих группу мод лазерного излучения	428
6.2.7.	Организация многоканальной связи в идеальной линзоподобной среде с минимальными потерями энергии	434
6.2.8.	Расчет ДОЭ для анализа поперечно-модового состава пучков когерентного излучения	440
6.2.9.	Результаты экспериментального исследования фундаментальных свойств гауссовых мод с помощью ДОЭ	443
6.2.10.	Натурное исследование возможности уплотнения каналов оптической связи с помощью селективного возбуждения мод Гаусса-Эрмита	449
6.2.11.	Расчет ДОЭ, согласованных с модами градиентных волокон с непараболическим профилем	453
6.3.	Применение ДОЭ в системах сбора, передачи и хранения информации	455
6.3.1.	Повышение пропускной способности систем оптической связи	455
6.3.2.	Волоконно-оптические датчики	458
6.3.3.	Экспериментальное исследование датчика микроперемещений, основанного на использовании модана	460
6.3.4.	Применение ДОЭ для коллимации излучения полупроводникового лазера	463
6.3.5.	Дифракционные делители пучка	464
6.4.	Заключение	465
	Литература к главе 6	466

## Глава 7. Световые пучки с периодическими свойствами

7.1.	Некоторые типы световых пучков с периодическими свойствами	469
7.2.	Фазовые формирователи световых полей с продольной периодичностью	475
7.3.	Алгоритм расчета ДОЭ для генерации вращающихся многомодовых пучков Бесселя	484
7.4.	Формирование пары вращающихся бездифракционных пучков с помощью бинарного фазового ДОЭ	488
7.5.	ДОЭ для формирования многомодовых пучков Гаусса-Лагерра	495
7.6.	Вращение световых многомодовых пучков Гаусса-Лагерра в свободном пространстве и волокне	504
7.7.	Формирование вращающихся пучков Гаусса-Лагерра с помощью фазовой бинарной дифракционной оптики	509
7.8.	Обобщенные эрмитовы световые пучки в свободном пространстве	517
7.9.	Формирование мод Гаусса-Эрмита с помощью бинарных ДОЭ	525
7.10.	Самовоспроизведение многомодовых пучков Гаусса-Эрмита	532
7.11.	Заключение	538
	Литература к главе 7	539

## Глава 8. Коррекция волновых фронтов

8.1.	Проблема создания волновых фронтов	541
8.2.	Оптические схемы с ДОЭ для анализа асферических поверхностей	542
8.3.	Расчет плоского компенсатора	544
8.4.	Спектральные свойства компенсаторов	545
8.5.	Характеристика точности эталонного волнового фронта	547
8.6.	Влияние дискретизации и квантования фазовой функции компенсатора на точность эталонного волнового фронта	550

8.7. Формирование волновых фронтов с малым относительным отверстием	552
8.8. Осесимметричные компенсаторы	554
8.9. Формирование волновых фронтов высших порядков	556
8.10. Формирование неосесимметричных волновых фронтов	558
8.11. Формирование внеосевых сегментов волновых фронтов вращения	560
8.12. Формирование волновых фронтов с заданным распределением интенсивности	564
8.13. Итеративные алгоритмы для расчета ДОЭ, формирующих заданные распределения фазы	568
8.14. Практическое использование	576
8.15. Заключение	577
Литература к главе 8	577
<b>Глава 9. Применение ДОЭ в светотехнических устройствах</b>	
9.1. Перспективы использования в светотехнических устройствах	579
9.2. Средства проектирования светотехнических устройств с ДОЭ	580
9.3. Моделирование устройств с квантованными ДОЭ	584
9.4. Проектирование автомобильных фар с ДОЭ	585
9.5. Проектирование компланарных осветителей	587
9.6. Результаты испытаний светотехнических устройств с ДОЭ	592
9.7. Заключение	595
Литература к главе 9	596
<b>Глава 10. Оптическая обработка информации с применением ДОЭ</b>	
10.1. Оптическое формирование признаков изображения	597
10.2. Разложение светового поля по ортогональному базису	599
10.2.1. Оптимальный базис Карунена-Лоэва	599
10.2.2. ДОЭ для разложения функции интенсивности по базису Адамара	618
10.2.3. ДОЭ для разложения амплитуды волны с угловыми гармониками	622
10.2.4. ДОЭ для разложения пучка по базису Цернике	629
10.3. Оптическое построение поля направлений и поля пространственных частот	637
10.3.1. Оптическое распознавание дактилограмм	647
10.3.2. Оптическая расшифровка интерферограмм	667
10.4. Оптическое выполнение преобразования Хоу-Радона	673
10.5. Заключение	676
Литература к главе 10	681
Заключение	684