

ОТЗЫВ

официального оппонента
доктора физико-математических наук,

Петрова Николая Ивановича

на диссертацию Алгубили Абрар Мохаммед Кхудхур

**«Формирование неоднородно поляризованных лазерных пучков
интерференционным методом и методами прямого преобразования
поляризационного состояния пучка»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Актуальность диссертационного исследования

Диссертационная работа Алгубили А. М. К. посвящена решению актуальной задачи разработки новых методов формирования неоднородно поляризованных световых пучков интерференционным методом и методами прямого преобразования поляризационного состояния пучка. Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена тем, что цилиндрические векторные пучки используются при передаче информации в свободном пространстве и по волоконно-оптическим линиям связи, манипуляции микрочастицами, для лазерной резки и сверления металла.

Применение внрезонаторных формирователей неоднородно поляризованных пучков имеет ряд преимуществ, в связи с универсальностью применения и компактностью. Однако в настоящее время большинство из них ориентировано на использование в монохроматическом излучении. Наиболее распространенные преобразователи поляризации типа Q-plate характеризуются, кроме того и достаточно высокой сложностью при строго заданном типе преобразования. С другой стороны, успешность и эффективность применения таких оптических компонент свидетельствует о востребованности данного метода в современных технических задачах. Таким образом, тематика диссертационной работы является **актуальной**, что обусловлено необходимостью разработки простых формирователей неоднородно поляризованных пучков с малым хроматизмом и повышенной лучевой стойкостью и, с другой стороны – преобразователей с высокой универсальностью и возможностью перестройки на другие типы поляризации.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. В диссертационной работе предложен вариант использования жидкокристаллического модулятора света совместно с оптической системой на основе интерферометра Маха–Цендера для формирования пучков с азимутальной поляризацией. Генерация модовых пучков осуществляется различными участками апертуры жидкокристаллического модулятора. Экспериментально подтверждено азимутальное состояние поляризации выходного пучка.

2. Предложены и реализованы оптические секторные сэндвич-структуры, состоящие из сложенных вместе поляризационной пластины, образованной секторами из дихроичной пленки с различными направлениями поляризационных осей, и фазовой пластины, имеющей фазосдвигающие области с разностью фаз π в виде полуплоскостей или квадрантов. Фазовая пластина компенсирует возникающую вихревую фазу. Сэндвич-структуры обеспечивают преобразование пучка с круговой поляризацией в цилиндрические

Входящий № 217-1397
Дата 11 МАР 2024
Самарский университет

векторные лазерные пучки: квазирадиально поляризованный пучок первого порядка и азимутально поляризованный пучок второго порядка.

3. Разработан метод формирования азимутально поляризованных пучков с вихревой фазовой зависимостью в виде широкого кольца при помощи конического элемента из преломляющего материала. Преобразование поляризации носит ахроматический характер за счёт отражения лучей, падающих под углом Брюстера, а для коллимации лучей служат вторая и третья конические поверхности, работающие на основе рефракции.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов для науки в целом заключается в разработке ряда методов преобразования поляризационного состояния с применением как пространственных модуляторов света (ПМС), так и простых бинарно-фазовых дифракционных оптических элементов (ДОЭ).

С точки зрения практического применения разработанные оптические элементы и системы в комбинации с элементами фокусирующей оптики могут использоваться в задачах оптической связи, лазерной обработки материалов, фотолитографии, ускорения электронов, а также в смежных областях.

Общее содержание работы

Диссертация Алгубили А. М. К. состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы, включающего 213 наименований. Работа изложена на 109 листах машинописного текста, включает 26 рисунков и 4 таблицы.

Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, изложены цель и задачи исследования, дана общая характеристика работы, проведён обзор научной литературы, сформулированы научная новизна полученных результатов и положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматривается интерференционная оптическая система для генерации поляризационно-неоднородного лазерного излучения с использованием ПМС. Суть интерференционного метода формирования неоднородно поляризованных лазерных пучков состоит в сложении пучков двух линейно поляризованных мод Гаусса–Эрмита с определённой разностью фаз. Для формирования модовых пучков в интерферометре используется ПМС и полуволновая пластинка, а объединяются пучки при помощи светоделительного кубика.

Фазовые ДОЭ, реализованного на ПМС дают полезные изображения в первом порядке дифракции для нейтрализации шумов, характерных для нулевого порядка. В работе приведены распределения интенсивности на выходе оптической системы прошедшие через анализатор при разных положениях поляризационной оси, которые подтверждают формирование пучка с азимутальной поляризацией.

Вторая глава посвящена исследованию оптических секторных сэндвич-структур для формирования цилиндрических веторных пучков (ЦВП), состоящих из сложенных вместе поляризационной пластины, образованной секторами из дихроичной плёнки с различными направлениями поляризационных осей, и фазовой пластины, имеющей фазосдвигающие области с разностью фаз π в виде полуплоскостей или в виде квадрантов. Показано, что секторная поляризационная пластинка без коррекции фазы позволяет сформировать радиальную поляризацию только на периферии сфокусированного поля, а в центре, где наблюдается максимум интенсивности, сохраняется круговая поляризация. Дополнение секторной поляризационной пластинки фазовой пластинкой позволяет

получить частично радиально поляризованное поле. При формировании цилиндрически поляризованного пучка 2-го порядка использование 8-секторной поляризационной пластинки позволяет сформировать поле с азимутальной поляризацией 2-го порядка хорошего качества. Экспериментальные исследования распределений интенсивности света в фокусе линзы при освещении секторных сэндвич структур излучением гелий-неонового лазера с круговой поляризацией показали наличие нулевой интенсивности в центре распределения, что свидетельствует о наличии сингулярностей у сформированных пучков. Дополнительная проверка наличия неоднородных поляризаций первого и второго порядка осуществлялась с помощью многоканального вихревого фильтра.

В третьей главе сформулированы теоретические основы и приведены результаты численных и натуральных экспериментов по исследованию оптических элементов для формирования коллимированного азимутально поляризованного пучка с вихревой фазовой зависимостью, образованных двумя и тремя коническими поверхностями. Основное преимущество таких элементов состоит в отсутствии необходимости взаимной юстировки поверхностей, осуществляющих преобразование поляризации и коллимацию излучения. В диссертации проведен расчет геометрии такого элемента с тремя коническими поверхностями, дающего на выходе пятно круглой формы. Отдельно путем численного моделирования доказана устойчивость поляризационного преобразования к изменению длины волны падающего излучения в пределах $1 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 1,5 \text{ мкм}$. Такая устойчивость достигается за счет использования отраженной части излучения, падающего на коническую поверхность под углом Брюстера. Невысокая полученная энергетическая эффективность около 7% компенсируется возможностью использования более мощных источников света благодаря высокой лучевой стойкости используемого оптического материала.

В заключении приведены основные результаты диссертации.

Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и заключений

Достоверность диссертационной работы обусловлена согласованием результатов численного моделирования с результатами натуральных экспериментов в которых использовались как многоканальные дифракционные оптические элементы, так и ПМС. Исходные положения диссертации построены на известных фактах и согласуются с опубликованными теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации и смежным отраслям. В работе автор корректно использует теоретические преобразования и математические выкладки. Моделирование и расчёт оптических элементов проведено как в авторских программах, так и программном пакете Comsol.

Основные результаты диссертации опубликованы в 6 научных работах, в том числе, в 6 статьях в рецензируемых журналах ВАК, журналах, индексируемых в базах Scopus и WoS. Результаты работы также докладывались на 2 конференциях Российского и Международного уровня по тематике исследования.

В целом диссертация производит хорошее впечатление. Автором проведен большой объем детальных исследований разработанных оптических элементов и систем. В диссертационном исследовании используются как аналитические выкладки, так и численное моделирование и натуральный эксперимент.

Замечания:

1. Оптическая схема на рисунке 1.1 не отображает принципиальные особенности способа формирования пучков, хотя в тексте при описании объясняются особенности схемы и указано, что рисунок не отображает детальную картину хода лучей. Для лучшего представления и понимания материала нужно было изобразить оптическую схему в соответствии с описанием работы установки.
2. В диссертации нет данных об энергетической эффективности формирования как исходных пучков при помощи ПМС, так и энергетической эффективности формирования векторных азимутально поляризованных пучков. Можно лишь косвенно судить по рисунку 1.4, что нулевой порядок дифракции имеет весьма значительную интенсивность. На рисунке 1.4 изображения для ориентации поляризационной оси под 45 и 135 градусов положение темной полосы заметно отличается от этих значений, что свидетельствует о наличии поляризации смешанного типа, о чем надо было бы написать в диссертации.
3. При описании результата, изображенного на рисунке 2.2б, говорится о весьма малых размерах центральной области с круговой поляризацией, но не приводится ни абсолютные, ни относительные размеры этой области, что усложняет восприятие материала.
4. Наблюдается несовпадение результата после многоканального ДОО, изображённого на рисунке 2.11а, для случая без фазовой пластинки и распределения на рисунке 2.2в, что, по всей видимости, является опечаткой.
5. В оптической схеме на рисунке 2.8 не все расстояния указаны, так же и в экспериментальных распределениях интенсивности нет ни осей координат ни указания масштаба полученных распределений.
6. В главе 3 пояснение принципов действия многоконических элементов проводится на основе рисунка 3.3, который сложно воспринимается, в частности непонятно образование внешнего кольца в полученном экспериментально распределении интенсивности, изображённом на рисунке 3.6.
7. В подразделе 3.3.3 нет значений параметров распределения амплитуды светового поля начального пучка для случая постоянного источника света, нет чёткой формулировки задачи и модели, в рамках которой производится расчёт, только краткое упоминание, что моделирование сделано методом FDTD. Нет описания геометрии задачи, т.е. на какую поверхность падает пучок, геометрические параметры биконического аксикона. По всей видимости, судя по рисункам проекции OYZ из таблицы 3.1, падение начального пучка отличается от изображённого на рисунке 3.4.

Отмеченные недостатки носят не принципиальный характер и не снижают общей значимости работы, ее научной и практической ценности. Диссертация Алгубили Аббар Мохаммед Кхудхур является законченной научно-квалифицированной работой, в которой решена научная задача создания новых элементов и оптических систем для формирования неоднородно поляризованных световых пучков, имеющая значение для развития производства поляризационной оптики.

Работа имеет научную новизну, результаты работы достоверны и имеют практическое применение. Основные результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых журналах и докладывались на семинарах и конференциях.

Диссертация написана доступным и понятным языком, хорошо иллюстрирована и в полной мере структурирована. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Работа написана грамотно и достаточно аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Содержание диссертационной работы Алгубили А. М. К. «Формирование неоднородно поляризованных лазерных пучков интерференционным методом и методами прямого преобразования поляризационного состояния пучка» полностью соответствует паспорту специальности 1.3.6. Оптика и отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения и присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

На основании этого считаю, что автор Алгубили Абрар Мохаммед Кхудхур заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Д.ф.-м.н., главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Научно-технологический
центр уникального приборостроения Российской
академии наук
117342, Москва, ул. Бутлерова, д.15
+7(916)680-31-24,
petrov.ni@ntcup.ru
petrovni@mail.ru



01.03.2024

Петров
Николай Иванович


попросил Петрова Н.И. подтвердить
№ Кателушеская И.А.
назначенной отдела управления
персоналом
01.03.2024