УТВЕРЖДАЮ
директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук

_____Н.Н. Колачевский
«20» февраля 2024 г.

ОТЗЫВ
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,
на диссертационную работу 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

1. Актуальность работы

Диссертационная работа Алгубили А. М. К. посвящена разработке способов формирования неоднородно поляризованных лазерных пучков с помощью интерференционного метода, секторных пластинок и многоконических аксиконов.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена высоким интересом к векторным световым полям. Данные световые пучки обладают пространственно неоднородным распределением поляризации. Такие структурированные световые поля обладают уникальными свойствами и находят применение в микроскопии сверхвысокого разрешения, используются для повышения точности интерференционных измерений, расширения возможностей передачи информации, для манипуляции микрообъектами, лазерной обработки материалов. Следует отметить, что количество публикаций по этой тематике в последние годы держится на стабильно высоком уровне. Основное направление формирования неоднородно поляризованного излучения сосредоточено вокруг аксиально-симметричного распределения поляризации в поперечном сечении пучка.

Входящий № 206-1061
Дата 27 ФЕВ 2024
Самарский университет

Наиболее удобны в использовании формирователи поляризации с аксиальной симметрией, осуществляющие непосредственное преобразование поляризационного состояния пучка, такие, как оптические системы, включающие аксиконы и многосекторные пластины. Преимуществом аксиконов является высокая лучевая стойкость. Однако для аксиконов, как дифракционных, так и рефракционных, актуальным является преодоление хроматизма, а также объединение отдельных оптических элементов, составляющих оптическую систему, в единый жесткий блок для облегчения юстировки. При использовании многосекторных поляризационных пластин очевидна потребность в компенсации вихревых составляющих, появляющихся из-за круговой поляризации исходного пучка. Кроме того, актуальными являются системы, обеспечивающие возможность управления распределением поляризации в поперечном сечении неоднородно поляризованного пучка. Такую возможность дают интерференционные методы за счет изменения образов исходных мод и межмодовых фазовых сдвигов при использовании пространственного модулятора света. Задача выбора схемы интерферометра, содержащей минимальное число элементов, согласованной со свойствами модулятора света и дающей максимальную энергетическую эффективность, является актуальной в настоящее время.

Таким образом, разработка, совершенствование и исследование новых методов формирования неоднородно поляризованных лазерных пучков предоставляет большой как научный, так и практический интерес. Это определяет высокую актуальность диссертационной работы соискателя.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

В диссертационной работе автором получены следующие новые результаты:

1. Предложена и экспериментально реализована новая оптическая система для генерации поляризационно неоднородного лазерного излучения на основе интерферометра Маха-Цендера с использованием одного пространственного модулятора света и разделением по фронту волны для формирования пучков в интерферометре. Её отличительной особенностью является также схема объединения пучков при помощи светоделительного кубика без дополнительных дифракционных решёток и линз. Предложенная схема интерферометра позволяет легко комбинировать нужные порядки дифракции за счёт настройки. Отметим также, что объединение пучков при помощи светоделительного кубика, в отличие от дифракционной решётки,

даёт два пучка равной мощности с необходимым поляризационным состоянием, причём оба могут быть использованы.

2. Разработаны 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. Сэндвич-структуры обеспечивают преобразование пучка с круговой поляризацией в цилиндрические векторные лазерные пучки и позволяют модулировать дополнительную вихревую фазу. Сэндвич-структуры характеризуются простотой изготовления при энергетической эффективности близкой к 50 %.

3. Рассчитаны и исследованы оптические элементы из преломляющего материала, ограниченные коническими поверхностями для формирования азимутально поляризованных пучков с вихревой фазовой зависимостью. Преобразование поляризации в оптических элементах происходит на первой конической поверхности за счёт отражения лучей, падающих под углом Брюстера, а вторая и третья конические поверхности осуществляют коллимацию пучка. Совмещение в одном элементе функций преобразования поляризации и коллимации света позволяет создавать готовые к использованию моноблочные элементы, что даёт возможность разрабатывать более компактные оптические схемы.

3. Обоснование и достоверность научных положений и выводов

Достоверность результатов проведённого исследования подтверждается согласованием экспериментальных результатов с результатами численного моделирования. Экспериментально показана возможность использования предложенных методов и оптических систем для формирования цилиндрических векторных пучков. Теоретические обоснования построения предлагаемых оптических элементов и способов формирования цилиндрических векторных полей основаны на известных фактах и согласуются с опубликованными теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации и смежным отраслям.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Предложенные в диссертации новые оптические схемы и устройства формирования пучков с радиальной и азимутальной поляризацией могут быть применены для расширения возможностей информационных

оптических систем, систем лазерной обработки материалов и дают возможность разрабатывать более компактные оптические схемы для решения различных практических задач.

5. Общая характеристика работы

Диссертация Алгубили А. М. К. состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы. Общий объём составляет 109 страниц машинописного текста, включает 26 рисунков, 4 таблиц и 213 библиографических ссылок. Целью диссертационной работы является разработка новых способов формирования цилиндрических векторных световых пучков.

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 в рамках интерференционного метода предложена на основе интерферометра Маха–Цендера схема для генерации поляризационно-неоднородного лазерного излучения с использованием пространственного модулятора света (ПМС). В работе рассмотрены особенности построения оптической схемы и представлены результаты экспериментальной реализации данного способа.

Во второй главе разработаны и реализованы оптические секторные сэндвич-структуры для формирования цилиндрических векторных пучков (ЦВП), состоящие из сложенных вместе поляризационной пластины, образованной секторами из дихроичной плёнки с различными направлениями поляризационных осей и фазовой пластины. Как известно, при прохождении пучка с круговой поляризацией через секторную поляризационную пластинку в нём появляется дополнительная вихревая фаза. В работе предложено для компенсации этой вихревой фазы при получении ЦВП использовать дополнительную фазовую пластинку, имеющую фазосдвигающие области с разностью фаз π в виде полуплоскостей или в виде квадрантов. Проведено моделирование работы структур, изготовлены лабораторные образцы и проведено экспериментальное исследование предложенных оптических элементов. Показано, что сэндвич-структуры обеспечивают преобразование пучка с круговой поляризацией в такие ЦВП как квазирадиально поляризованный пучок первого порядка и азимутально поляризованный пучок второго

порядка. Данные оптические элементы характеризуются простотой изготовления при энергетической эффективности близкой к 50 %.

В третьей главе сформулированы теоретические основы, приведены результаты по исследованию предложенных оптических элементов, образованных коническими поверхностями, для формирования азимутально поляризованного пучка с вихревой фазовой зависимостью. Проведен теоретический анализ хода лучей через предлагаемые конические элементы для генерации коллимированного азимутально поляризованного пучка, а также исследованы состояния поляризации лучей на выходе предложенного элемента, получено соответствие экспериментальным данным.

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования.

6. Рекомендации по применению результатов

Полученные в диссертации научные результаты, касающиеся методов формирования неоднородно поляризованных лазерных пучков и результатов расчёта соответствующих оптических элементов, рекомендуется использовать в организациях, проводящих исследования и разработку оптических систем: МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ имени Н.Э. Баумана, Национальном исследовательском университете ИТМО, Обществе с ограниченной ответственностью «Системы фотоники», Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева.

Рекомендуется использование результатов диссертации в учебном процессе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», а также их внедрение в учебный процесс других вузов, осуществляющих подготовку специалистов в области оптики.

7. Замечания

Диссертация не лишена некоторых недостатков:

1) В пункте 2.2.1 следовало бы написать, в рамках какого приближения производился расчёт распределений вектора светового поля.

2) В формуле (2.7) указаны численные значения диэлектрической проницаемости, но нет пояснения, почему были выбраны именно такие значения.

3) В пункте 2.2.2 при расчётах рассматривались элементы и области пространства порядка нескольких сотен нанометров и единиц микрометров. В тексте диссертации нужно было пояснить, почему были выбраны такие размерности элементов, и насколько полученные результаты применимы к реальным экспериментальным образцам.

4) В пункте 3.3.3 следовало бы более детально представить описание математической формулировки и геометрии задачи, результаты решения которой представлены в данном пункте.

5) В 1-ом пункте общего заключения к работе, относящемся к результатам, представленным в первой главе диссертации, говорится о более чем двухкратном увеличении эффективности формирования пучков, но не приводятся значения полученной энергетической эффективности.

6) Есть небрежности в оформлении рисунков, например, на рис. 3.10, таблицы 3.1 и 3.3 подписи сделаны на английском языке, слишком маленьким шрифтом.

8. Оценка диссертации в целом

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности представленной диссертационной работы, которая является завершённым исследованием, в котором содержится решение научной задачи, имеющей значение для создания новых методов и оптических систем формирования неоднородно поляризованных световых пучков. Все основные результаты диссертационного исследования отражены в публикациях автора, включая 6 научных работ в рецензируемых журналах, внесённых в Перечень журналов и изданий, рекомендованный ВАК России. Содержание диссертации соответствует содержанию опубликованных работ. Полученные в работе результаты соответствуют поставленным целям, соответствие темы диссертации и научной специальности 1.3.6. Оптика не вызывает сомнений. Автореферат диссертации правильно отражает её содержание и полностью ему соответствует. Диссертационная работа прошла необходимую апробацию, её результаты были представлены на двух международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Таким образом, диссертационная работа Алгубили А.М.К. «Формирование неоднородно поляризованных лазерных пучков

интерференционным методом и методами прямого преобразования поляризационного состояния пучка» удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании учёного совета Самарского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (протокол № 4 от 7 февраля 2024 г.)

Отзыв составил:
Старший научный сотрудник
лаборатории когерентной оптики,
кандидат физико-математических наук _____ С.А. Самагин

Директор СФ ФИАН,
Председатель ученого совета СФ ФИАН,
Доктор физико-математических наук _____ В.Н. Азязов