

ТЕМПЕРАТУРНОЕ И АПЕРТУРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПУЧКОВ БЕССЕЛЯ НУЛЕВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКОВ В Z-СРЕЗЕ КРИСТАЛЛА CaCO_3

В.Д. Паранин, Ш.М. Бакиров

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В работе представлены результаты исследования управления преобразованием пучков Бесселя нулевого порядка, формируемых дифракционным аксиконом, в вихревой пучок Бесселя второго порядка в z-срезе кристалла CaCO_3 .

Лазерные пучки Бесселя широко применяются в научных исследованиях и оптических системах перспективных технологических комплексов. На основе пучков нулевого порядка осуществляется лазерная обработка материалов, литография высокого разрешения. С использованием вихревых пучков реализуется оптический захват и перемещение атомов, микрочастиц, микробиологических объектов. Дальнейшее развитие оптической техники и технологии требует создания приборов и методов формирования пучков Бесселя с вихревой фазой. Одним из путей решения этой задачи является использование анизотропных кристаллов, например, одноосных. В этих кристаллах происходит периодическое преобразование формы пучка, определяемое показателями преломления, длиной волны и числовой апертурой аксикона. Дальнейшее развитие подобных преобразователей заставляет искать методы подстройки оптических параметров уже изготовленных кристаллов.

Целью данной работы является исследование управления преобразованием пучков Бесселя нулевого порядка, формируемых дифракционным аксиконом, в вихревой пучок Бесселя второго порядка в z-срезе кристалла CaCO_3 . В качестве управляющего воздействия выбрано изменение температуры, изменяющее показатели преломления и толщину кристалла. Выбранный метод управления не обладает высоким быстродействием. Однако он пригоден для создания лабораторных устройств научного назначения.

Для исследования температурного преобразования пучка Бесселя нулевого порядка в вихревой пучок второго порядка была собрана оптическая установка, схема которой показана на рисунке 1. Термостатируемая оптико-механическая часть содержала коллимирующую линзу, дифракционный аксикон, z-срез кристалла CaCO_3 и микрообъектив. Источником излучения служил гелий-неоновый лазер ЛГН-207А с линейно-поляризованным излучением. В качестве анизотропной среды использовался одноосный кристалл исландского шпата с размерами 8x8x15 мм. Z-ось кристалла ориентировалась параллельно оптической оси схемы. Точное сведение обыкновенного и необыкновенного пучков обеспечивалось двумерной угловой оправой. Аксикон, кристалл и объектив помещались в термостат, температура которого задавалась исследователем. Управление термостатом производилось измерителем-регулятором.

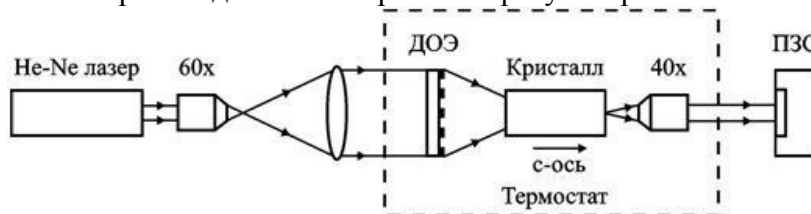
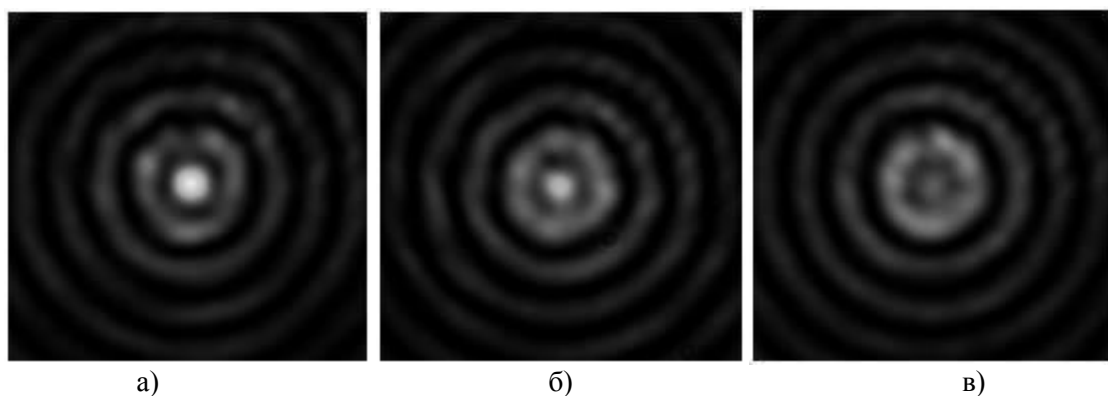


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

На рисунке 2 показаны экспериментальные результаты преобразования пучка Бесселя, наблюдаемого на выходе кристалла CaCO_3 , при различных температурах.



а) б) в)
Рисунок 2 - Фотографии лазерного пучка при различных температурах:
а) 21,1 °С, б) 45,7 °С, в) 70,5 °С

Из полученных результатов следует, что изменение температуры с 21,1 °С до 70,5 °С привело к существенному снижению интенсивности центрального максимума диаграммы направленности. Это соответствует изменению длины кристалла на $0,25p$, где p – период полного преобразования пучков Бесселя 0-го и 2-го порядков. Установлено, что динамический механизм рассмотренного управления преобразованием пучка состоит в термическом расширении кристалла вдоль с-оси и в термооптическом изменении показателей преломления и двулучепреломления кристалла. Все это изменяет оптическую разность хода и условия сложения обыкновенного и необыкновенного пучков, пространственно совмещенных в фокальной плоскости.

Необходимо отметить, что тепловое воздействие может прикладываться не только к кристаллу. Как известно, нагрев полупроводникового лазера увеличивает длину волны излучения. Это изменение приведет к изменению апертуры аксикона и преобразованию лазерного пучка на выходе одноосного кристалла. Достоинством такого подхода является потенциально большее быстродействие, поскольку изменение температуры излучающего перехода может осуществляться изменением тока накачки. Недостатком подхода является падение мощности излучения при повышении температуры полупроводника.

Для исследования влияния длины волны излучения на форму лазерного пучка использовался полупроводниковый красный лазерный модуль KLM-A635. Нагрев лазера осуществлялся с помощью резистивной спирали, навитой на его корпус и подключенной к источнику тока. Измерение спектрального состава излучения проводилось с помощью узкополосного спектрометра – измерителя длины волны SHR (ЗАО «Солар ЛС, г. Минск»). Схема эксперимента показана на рисунке 3.

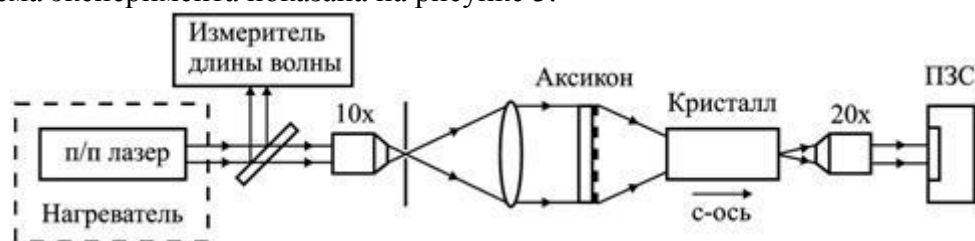


Рисунок 3 - Схема экспериментальной установки

На рисунке 4 приведены фотографии лазерных пучков, полученные при различных длинах волн. Все фотографии соответствуют одномодовому режиму генерации. Интенсивности пучков приведены к одному значению с учетом падения мощности лазера KLM-A635 при нагреве.

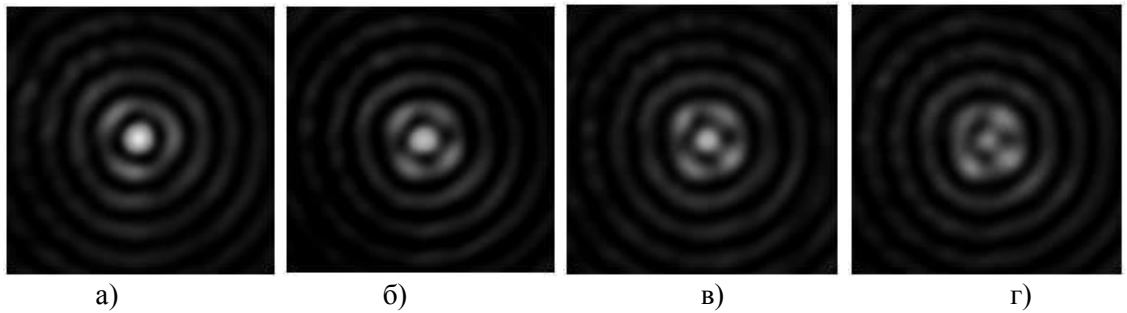


Рисунок 4 - Фотографии выходных лазерных пучков при различных длинах волн излучения: а) 637,07 нм, б) 639,75 нм, в) 640,52 нм, г) 641,80 нм

Из результатов измерений следует, что вариация длины волны λ приводит к изменению распределения интенсивности выходного пучка. Сегментированная форма первого светлого кольца на рис.2 объясняется возникновением дополнительных вихревых пучков при использовании полупроводникового источника излучения. В этом эксперименте не удалось достичь 100% преобразования пучков Бесселя 0-го и 2-го порядков, поскольку при достижении 641,80 нм лазерная генерация практически прекращалась вследствие перегрева. Применительно к исследуемому кристаллу CaCO_3 для этого требуется изменение $\Delta\lambda=7,2$ нм при начальной длине волны $\lambda=637,07$ нм. Это значение согласуется с данными рис.2, где произошло преобразование на 65-66% при вариации $\Delta\lambda=4,73$ нм. Необходимое для полного преобразования изменение длины волны $\Delta\lambda$ можно уменьшить путем увеличения толщины кристалла h и/или за счет увеличения апертуры аксикона α .

Таким образом, в работе исследована возможность преобразования пучков Бесселя 0-го и 2-го порядков за счет изменения длины волны полупроводникового лазера и апертурных свойств дифракционного аксикона. Повышение быстродействия обеспечивается прямой токовой модуляцией длины волны полупроводникового лазера, либо изменением температуры излучающего перехода с помощью встроенного термоэлектрического микроохладителя. Для полного преобразования пучков следует расширить регулируемый температурный диапазон за счет охлаждения / нагрева лазера и/или увеличивать апертуру аксикона и толщину кристалла. В целом рассмотренный подход позволяет создавать компактные твердотельные устройства управления оптическим излучением для использования в задачах лазерной обработки, литографии, манипуляции микрочастицами.