

УДК 535.915

ХРОМАТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ БЕССЕЛЯ В С-СРЕЗЕ КРИСТАЛЛА CaCO_3

Бакиров Ш. М., Паранин В. Д.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

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 пучков более высоких порядков производится оптический захват и перемещение атомов, микрочастиц, микробиологических объектов.

Теоретические исследования показали, что в одноосных кристаллах происходит периодическое преобразование непараксиально распространяющегося вдоль с-оси пучка Бесселя нулевого порядка в вихревой пучок Бесселя второго порядка. В экспериментальных работах было отмечено повышение эффективности преобразования и уменьшение пространственного периода преобразования с ростом числовой апертуры пучка и двулучепреломления кристалла.

Целью данной работы являлось исследование преобразования пучков Бесселя нулевого и второго порядка за счёт вариации апертуры освещающего излучения. Изменение апертуры осуществлялось вариацией длины волны лазера и использованием амплитудного дифракционного аксикона, расположенного перед кристаллом.

Для исследования апертурного преобразования пучка Бесселя нулевого порядка в вихревой пучок второго порядка была собрана оптическая установка, схема которой показана на рисунке 1.

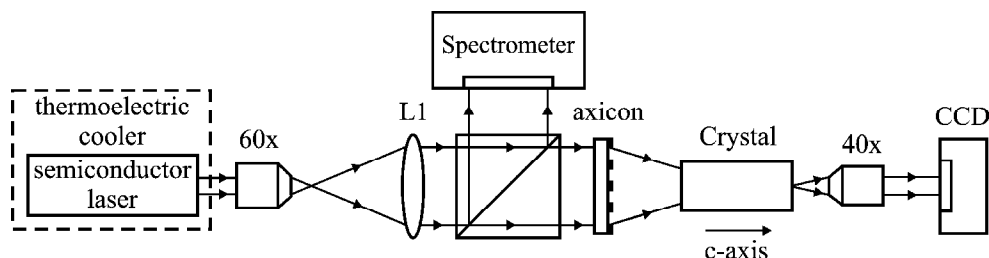


Рис. 1. Установка для исследования преобразования пучков Бесселя

Источником излучения служил полупроводниковый красный лазерный модуль KLM-A635. Изменение длины волны в небольших пределах осуществлялось вариацией температуры полупроводникового лазера.

Измерение длины волны и спектрального состава излучения проводилось с помощью узкополосного спектрометра SHR (ЗАО «Солар ЛС, г. Минск»). Спектр излучения был преимущественно одночастотным.

Расширение лазерного пучка производилось объективом 60x и плоско-выпуклой линзой диаметром 20 мм и фокусным расстоянием 150 мм. В качестве анизотропной среды использовался одноосный кристалл CaCO_3 с размерами $8 \times 8 \times 15$ мм. С-ось кристалла ориентировалась параллельно оптической оси схемы. Точное сведение обыкновенного и необыкновенного пучков обеспечивалось двумерной угловой оправой. Увеличение размеров выходного пучка осуществлялось 40x объективом с $\text{NA}=0,65$, превосходящей числовую апертуру аксикона. Распределение интенсивности

выходного пучка фиксировалось черно-белой USB-видеокамерой DCM 310 с разрешением 3 МПкс и разрядностью аналого-цифрового преобразователя 8 бит.

Для формирования пучка Бесселя нулевого порядка был изготовлен амплитудный дифракционный аксикон диаметром 40 мм на стеклянной подложке с периодом колец 2 мкм (для $\lambda = 0,6328$ мкм соответствует угловой апертуре $\alpha = 0,322$).

На рисунке 2 приведены фотографии лазерных пучков, полученные при различных длинах волн. Все фотографии соответствуют одночастотному режиму генерации.

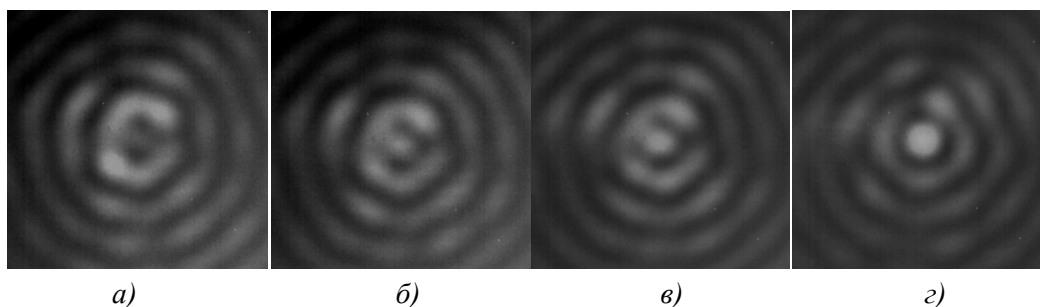


Рис. 2. Фотографии выходных лазерных пучков для различных длин волн излучения:
а) 637,52 нм, б) 637,25 нм, в) 637,05 нм, г) 636,02 нм

Из результатов измерений следует, что вариация длины волны приводят к изменению распределения интенсивности выходного пучка.

Оценим изменение длины волны, необходимое для полного преобразования пучков Бесселя нулевого порядка в вихревой пучок второго порядка в с-срезе произвольного одноосного кристалла. Относительное изменение длины волны $\Delta\lambda/\lambda$ равнозначно изменению отношения $\Delta(h/p)/(h/p)$, где h – длина кристалла, мм, p – пространственный период преобразования пучков, определяемый двулучепреломлением кристалла и апертурой освещающего пучка, мм. Поскольку необходимое изменение $\Delta(h/p)=1$, то требуемая вариация длины волны для кристалла составляет $\Delta\lambda = \lambda p/h$. Применительно к исследуемому кристаллу CaCO_3 и аксикону с периодом 2 мкм необходимо обеспечить $\Delta\lambda = 1,7$ нм при начальной длине волны $\lambda = 637,5$ нм. Это значение согласуется с данными рис. 2,г, где произошло практически полное преобразование пучка при изменении $\Delta\lambda = 1,5$ нм.

Исследовано преобразование пучков Бесселя нулевого порядка в пучок Бесселя второго порядка в с-срезе одноосного кристалла. Показана возможность управления преобразованием пучка на выходе с-среза кристалла при изменении длины волны лазера, изменяющей апертуру освещающего пучка. Получено практически полное преобразование пучков при изменении длины волны $\Delta\lambda=1,5$ нм при начальной длине волны $\lambda=637,5$ нм для кристалла CaCO_3 длиной 15 мм и дифракционного аксикона с периодом 2 мкм. Это значение согласуется с расчётным значением $\Delta\lambda=1,7$ нм. Указано на возможность создания малогабаритных преобразователей пучка Бесселя на основе тонкого (менее 1 мм) кристалла с нанесенным дифракционным аксиконном периодом несколько микрометров.