

Исследование возможности использования двулучепреломляющего кристалла для формирования неоднородно поляризованных лазерных пучков

В.С. Васильев¹, В.В. Подлипов^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. В работе предложена оптическая схема образования поляризационно-неоднородных лазерных лучей на основе двулучепреломляющего кристалла. Представлены результаты экспериментального исследования поляризационных преобразований лазерных пучков и анализ влияния воздействия на формирующиеся обыкновенный и необыкновенный лучи в отдельности на указанные преобразования.

1. Введение

Поляризационно-неоднородные лазерные пучки благодаря своим особенностям используются в таких приложениях как микроскопия, литография, оптический захват микрочастиц, спектроскопия, [1] В работе [2] были показаны возможности поляризационно неоднородных лазерных пучков и их перспективности для острой фокусировки.

Поляризационно-неоднородные лазерные пучки могут быть сформированы из поляризационно однородного лазерного излучения введением в оптическую схему специальных оптических элементов. В работах [3-4] были показаны способы генерации поляризационно неоднородных лазерных пучков с помощью ДОЭ. Использование двулучепреломляющих кристаллов для преобразования лазерных пучков Бесселя ранее изучалось в работах [5-7] и они также могут быть использованы для формирования поляризационно-неоднородных лазерных пучков. При прохождении пучка Бесселя, формируемого дифракционным аксиконом сквозь анизотропную среду кристалла происходят поляризационные и модовые преобразования. В работах [8-9] были даны экспериментальные и теоретические оценки преобразований, а также показано, что результатом преобразования является суперпозиция обыкновенного и необыкновенного лучей формирующихся в анизотропной среде кристалла. Их суперпозиция может формировать как пучки Бесселя нулевого порядка, так и второго. Такие преобразования носят периодический характер и как показано в работах [10-12] могут быть подстроены за счет изменения таких параметров оптической системы, как расходимости пучка, изменением длины волны лазера и т.д. Также было показано, что существенным является возможность влияния на параметры кристалла например нагревом или электрооптическим воздействием, которое имеет прямую возможность влиять на поляризационные преобразования лучей в среде электрооптического кристалла.

Цель данной работы явилось экспериментальное исследование поляризационных преобразований в двулучепреломляющем одноосном кристалле, а также изучение возможности изменения результата преобразования лазерных пучков в области их суперпозиции за счет влияния на обыкновенный и необыкновенный луч в отдельности.

2. Экспериментальное исследование формирования неоднородно поляризованных лазерных пучков

В данной работе были проведены эксперименты с использованием оптической схемы, которая представлена на рисунке 1, где 1 – лазер с перестраиваемой длиной волны EKSPLA NT 200, 2 – диафрагма, которая выделяет необходимую часть пучка, 3 – коллиматор (оптическая система, состоящая из 2-х двояковыпуклых линз), 4 – диафрагма, ограничивающая необходимую часть пучка, 5 – Дифракционный оптический элемент, 6 – анизотропный кристалл, 7,8,10 – поворотные зеркала, 9 – полуволновая пластинка, 11 – светоделительный кубик (или призма), 12 – фокусирующая линза, 13 – ПЗС матрица.

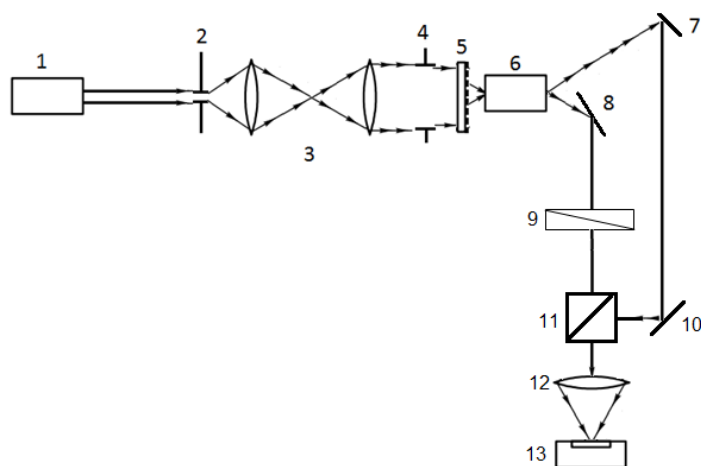


Рисунок 1. Оптическая схема эксперимента.

Неоднородно поляризованные пучки образуются при прохождении сквозь одноосный кристалл DKDP. При этом, свет распространяется таким образом, чтобы на выходе обыкновенный и необыкновенные лучи расходились под некоторым углом, что позволяет затем воздействовать на каждый луч в отдельности. Используя полупрозрачный кубик, имеется возможность снова свести обыкновенный и необыкновенный лучи. Таким образом, отведя необыкновенный луч, вводится полуволновая пластинка, которая увеличивает оптическую разность хода необыкновенного луча на $\frac{\lambda}{2}$. Далее расходящиеся пучки сводятся в плоскость

изображения при помощи фокусирующей линзы. В зависимости от количества полупрозрачных пластинок будет меняться поляризация необыкновенного луча из линейной в круговую (эллиптическую) и обратно. В плоскости изображения будет наблюдаться наложение двух пучков с различной поляризацией.

В результате исследования получены изображения таких пучков, а также приведены исследования изображения и анализ поляризационных преобразований каждого из лучей в отдельности и влияние воздействий на отдельные лучи на суперпозицию двух лучей, что позволило расширить возможности управления неоднородной поляризацией в результате преобразований лазерных пучков в среде двулучепреломляющего кристалла.

3. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/Ч3363/26).

4. Литература

- [1] Zhan, Q. Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications / *Advances in Optics and Photonics* // Qiwen Zhan. – 2009. – Vol. 1. – P. 1-57.
- [2] Карпеев, С.В. Исследование острой фокусировки поляризационно-неоднородных лазерных пучков высокого порядка методами ближнепольной микроскопии / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина, С.В. Алфёров // *Компьютерная оптика*. – 2012. – Т. 36, № 4. – С. 506-510. DOI:10.18287/2412-6179-2012-36-4-506-510.
- [3] Карпеев, С.В. Оптическая схема для универсальной генерации и конверсии поляризационно-неоднородного лазерного излучения с использованием ДОО / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина // *Компьютерная оптика*. – 2009. – Т. 33, № 3. – С. 261-267.
- [4] Карпеев, С.В. Формирование поляризационно-неоднородных лазерных пучков высокого порядка на основе пучков с круговой поляризацией / С.В. Карпеев, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев // *Компьютерная оптика*. – 2011. – Т. 35, № 2. – С. 224-230.
- [5] Хонина, С.Н. Теоретическое и экспериментальное исследование поляризационных преобразований в одноосных кристаллах для получения цилиндрических векторных пучков высоких порядков / С.Н. Хонина, С.В. Карпеев, С.В. Алфёров // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т.2, №38. – С. 171-180. DOI:10.18287/0134-2452-2014-38-2-171-180.
- [6] Khonina, S.N. Generation of cylindrical vector beams of high orders using uniaxial crystals / S.N. Khonina, S.V. Karpeev, S.V. Alferov, V.A. Soifer // *Journal of Optics*. – 2015. – Vol. 17(1). – P. 11.
- [7] Khonina, S.N. Comparative investigation of nonparaxial mode propagation along the axis of uniaxial crystal / S.N. Khonina, S.I. Kharitonov // *Journal of Modern Optics*. – 2015. – Vol. 62(2). – P. 125-134.
- [8] Khonina, S.N. Effective transformation of a zero-order Bessel beam into a second-order vortex beam using a uniaxial crystal / S.N. Khonina, A.A. Morozov, S.V. Karpeev // *Laser Phys*. – 2014. – Vol. 24(1). – P. 5.
- [9] Khonina, S.N. Implementation of ordinary and extraordinary beams interference by application of diffractive optical elements / S.N. Khonina, S.V. Karpeev, A.A. Morozov, V.D. Paranin // *Journal of Modern Optics*. – 2016. – Vol. 63(13) – P. 1239-1247.
- [10] Paranin, V.D. Transformation of Bessel beams in c-cuts of uniaxial crystals by varying the emission source wavelength / V.D. Paranin, S.V. Karpeev, S.N. Khonina // *Journal of Russian Laser Research*. – 2016. – Vol. 37(3) – P. 207-210.
- [11] Хонина, С.Н. Управление формированием вихревых пучков Бесселя в одноосных кристаллах за счет изменения расходимости пучка / В.Д. Паранин, С.В. Карпеев, С.Н. Хонина // *Квантовая электроника*. – 2016. – Т.46, № 2. – С. 163-168.
- [12] Хонина, С.Н. Управление оптическими свойствами кристалла CaCO₃ в задачах формирования вихревых пучков Бесселя путем нагрева / В.Д. Паранин, С.Н. Хонина, С.В. Карпеев // *Автометрия*. – 2016. – Т. 52, № 2. – С. 81-87.

Investigation of the possibility of using birefringent crystals for the formation of inhomogeneously polarized laser beams

V.S. Vasilev¹, V.V. Podlipnov^{1,2}

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. We propose an optical scheme for the formation of polarization-inhomogeneous laser beams on the basis of a birefringent crystal and carried out its investigations. The results of an experimental study of polarization transformations of laser beams and an analysis of the effect of the action on the arising ordinary and extraordinary rays.

Keywords: DOE, inhomogeneously polarized laser beams, crystal.