

Пленочно-секторный формирователь неоднородных поляризаций высших порядков с коррекцией фазы

В.В. Подлипов^{1,2}, С.В. Карпеев^{1,2}, В.Д. Паранин²

¹Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. В работе разработаны и экспериментально исследованы поляризационные секторные пластинки для формирования радиальной и азимутальной поляризации. В результате оптического эксперимента показаны формирование в распределений интенсивности соответствующие радиальной и азимутальной поляризациям. В фокальной плоскости сформированного пучка поляризационными секторными пластинками происходит формирование распределения интенсивности соответствующих вихревому полю первого порядка с радиальной поляризацией и вихревого поля второго порядка с азимутальной поляризацией. Результаты оптического эксперимента показали работоспособность и высокую эффективность работы предложенных оптических элементов.

1. Введение

Цилиндрические векторные пучки различных порядков [1] представляют практический интерес в таких областях, как уплотненная оптическая передача данных [2], амплитудно-поляризационное модулирование фокальных распределений [3], микроманипулирование [4]. Многие приложения могут быть основаны на явлении так называемого обратного потока [8], возникающего при фокусировке радиально-поляризованных пучков высокого порядка. При этом интегральный обратный поток энергии увеличивается с ростом топологического порядка радиально поляризованного пучка. Таким образом, формирование цилиндрических пучков высокого порядка является актуальной задачей. Основными подходами получения цилиндрических векторных пучков, в том числе и высоких порядков, можно назвать поляризационные преобразования исходного пучка с помощью жидкокристаллических поляризационных модуляторов (ЖПМ) [9], с помощью суперпозиции векторных пучков [10], с помощью субволновых решеток [11], а также с помощью кристаллических [14] и пленочных [17] секторных пластинок. Основным плюсом всех типов секторных преобразователей является самая низкая стоимость за единицу площади и простота использования. Основным фактором, ухудшающим качество сформированных пучков и, соответственно, усложняющим технологию изготовления, являются стыки секторов. Кроме того, для преобразователей, у которых в качестве исходной применяется круговая поляризация [19], характерным является наличие вихревой фазы в сформированном пучке.

2. Экспериментальное исследование создания цилиндрических векторных пучков

Вначале были изготовлены поляризационные секторные пластинки для формирования радиальной поляризации первого порядка и азимутальной второго порядка ($P1_r$ и $P2_a$, см Табл.1). Пластинки составлялись из секторов, вырезанных на плоттере с необходимым направлением поляризационных осей, которые затем собирались на стеклянной подложке. Как следует из результатов моделирования, к ним необходимы фазовые пластинки, имеющие фазосдвигающие области в виде полуплоскости и в виде квадрантов. Такие пластинки были протравлены на кварцевых подложках по фотошаблонам, изготовленным на лазерном фотопостроителе CLWS-200S.

Экспериментальная установка (Рис.1) содержит He-Ne лазер, четвертьволновую пластинку ПП расширитель пучка в виде 20X микрообъектива и линзы Л1, ДОЭ, который может представлять собой соответствующую секторную поляризационную пластинку, сложенную при необходимости с фазовой пластинкой, многоканальный вихревой фильтр в качестве Модана, Фурье-преобразующую линзу Л2, и ПЗС-камеру (CCD).

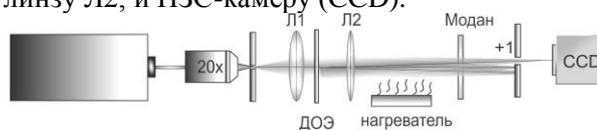


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

На первом этапе эксперимента проверялась правильность ориентации поляризационных осей секторов. Для этого из схемы убирался Модан, а ДОЭ без фазовой пластинки устанавливался вместе с линейным поляризатором как можно ближе к ПЗС-камере, которая также смещалась из фокуса линзы Л2. Полученные распределения интенсивности при различных положениях оси поляризатора показаны на рис.2.

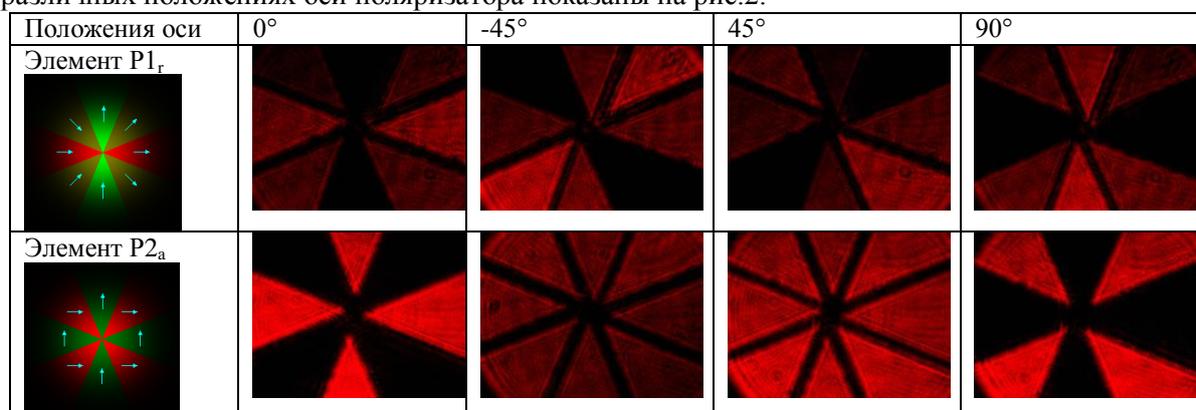


Рисунок 2. Распределения интенсивности, полученные в прошедшем излучении при различных положениях оси поляризатора.

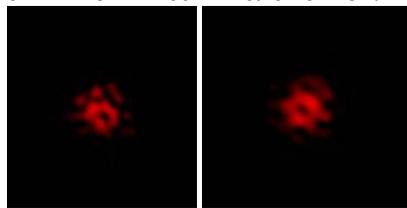
На рис.2 видно, что положения поляризационных осей секторов полностью соответствуют требуемому для разрабатываемого элемента.

Далее исследовалось распределение интенсивности в фокусе Фурье-преобразующей линзы для полученных неоднородно-поляризованных пучков первого и второго порядка. Для этого в оптической системе рис.1 убирался Модан, полученные распределения интенсивности показаны на рис.3.

3. Заключение

В работе разработаны и экспериментально исследованы поляризационные секторные пластинки для формирования радиальной поляризации первого порядка и азимутальной второго порядка ($P1_r$ и $P2_a$). В результате оптического эксперимента показаны формирование в распределений интенсивности соответствующие радиальной и азимутальной поляризациям. В фокальной плоскости сформированного пучка поляризационными секторными пластинками

происходит формирование распределения интенсивности соответствующих вихревому полю первого порядка с радиальной поляризацией и вихревого поля второго порядка с азимутальной поляризацией. Результаты оптического эксперимента показали работоспособность и высокую эффективность работы предложенных оптических элементов.



Радиальная P_{1r} , Азимутальная P_{2a}

Рисунок 3. Распределения интенсивности в фокусе Фурье-преобразующей линзы для полученных неоднородно-поляризованных пучков первого и второго порядка.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (МК-1797.2019.2) в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН в части расчета ДОЭ, гранта РФФИ (№18-29-20045 мк) в части экспериментальных исследований, а также гранта РФФИ (№18-07-01470) в части формирования вихревых пучков.

5. Литература

- [1] Котляр, В.В. Острая фокусировка света радиальной поляризации с помощью микролинз / В.В. Котляр, А.А. Ковалев, С.С. Стафеев // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 2. – С. 155-167.
- [2] Сойфер, В.А. Вращение микрочастиц в световых полях / В.А. Сойфер, В.В. Котляр, С.Н. Хонина, Р.В. Скиданов // Компьютерная оптика. – 2005. – Т. 28. – С. 5-17.
- [3] Wang, H. The propagation of radially polarized partially coherent beam through an optical system in turbulent atmosphere / H. Wang, D. Liu, Z. Zhou // Applied Physics B. – 2010. – Vol. 101(1). – P. 361-369. DOI: 10.1007/s00340-010-4106-7.
- [4] Kozawa, Y. Generation of a radially polarized laser beam by use of a conical Brewster prism / Y. Kozawa, Sh. Sato // Opt. Lett. – 2005. – Vol. 30(22). – P. 3063-3065.
- [5] Алфёров, С.В. Экспериментальное исследование фокусировки неоднородно поляризованных пучков, сформированных при помощи секторных пластинок / С.В. Алфёров, С.В. Карпеев, С.Н. Хонина, О.Ю. Моисеев // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 57-64.
- [6] Karpeev, S.V. Anisotropic diffractive optical element for generating hybrid-polarized beams / S.V. Karpeev, V.V. Podlipnov, S.N. Khonina, V.D. Pararin, K.N. Tukmakov // Optical Engineering. – 2019. – Vol. 58(8). – P. 082402. DOI: 10.1117/1.OE.58.8.082402.
- [7] Карпеев, С.В. Формирование неоднородно поляризованных вихревых пучков Бесселя на основе интерференционного поляризатора / С.В. Карпеев, В.Д. Паранин, С.Н. Хонина // Квантовая электроника. – 2018. – Т. 48, № 6. – С. 521-526.
- [8] Tidwell, S.C. Generating radially polarized beams interferometrically / S.C. Tidwell, D.H. Ford, W.D. Kimura // Applied Optics. – 1990. – Vol. 29. – P. 2234-2239.
- [9] Khonina, S.N. Polarization converter for higher-order laser beams using a single binary diffractive optical element as beam splitter / S.N. Khonina, S.V. Karpeev, S.V. Alferov // Optics Letters. – 2012. – Vol. 37(12). – P. 2385-2387. DOI: 10.1364/OL.37.002385.
- [10] Khonina, S.N. Generating inhomogeneously polarized higher-order laser beams by use of DOEs / S.N. Khonina, S.V. Karpeev // Journal of the Optical Society of America A. – 2011. – Vol. 28(10). – P. 2115-2123. DOI: 10.1364/JOSAA.28.002115.
- [11] Khonina, S.N. Grating-based optical scheme for the universal generation of inhomogeneously polarized beams / S.N. Khonina, S.V. Karpeev // Appl. Opt. – 2010. – Vol. 49(10). – P. 1734-1738. DOI: 10.1364/AO.49.001734.

Film sector optical element for creating inhomogeneous polarizations with phase correction of higher orders

V.V. Podlipnov^{1,2}, S.V. Karpeev^{1,2}, V.D. Pararin²

¹Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

²Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. In the work, polarization sector plates were developed and experimentally studied for the formation of radial and azimuthal polarization. As a result of an optical experiment, the formation of intensity distributions corresponding to radial and azimuthal polarizations is shown. In the focal plane of the formed beam by polarization sector plates, the intensity distribution corresponding to the first-order vortex field with radial polarization and the second-order vortex field with azimuthal polarization are formed. The results of the optical experiment showed the efficiency and high efficiency of the proposed optical elements.