

# Применение пространственного модулятора для создания векторных пучков

В.В. Подлипов<sup>1,2</sup>, С.В. Карпеев<sup>1,2</sup>

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

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

**Аннотация.** В работе предложена и исследована оптическая схема для формирования цилиндрических векторных пучков с заданным поляризационным состоянием на основе использования пространственного модулятора света. Модовый состав векторного пучка формируется заданием двух мод в различных частях пространственного модулятора света. Далее моды распространяются в двух плечах интерферометра для изменения исходного поляризационного состояния. Сведение осуществляется кубиком. Для проверки работы описанной оптической установки вначале в соответствующих секциях ПМС формировались моды Гаусса-Эрмита (0, 1) и (1, 0). Формирование мод осуществлялось в первом порядке дифракции путем задания фазового ДОЭ с несущей. Представлены экспериментальные распределения интенсивности с соответствующими положениями анализатора, подтверждающее формирование радиальной поляризации.

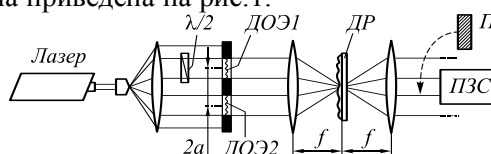
## 1. Введение

Векторные пучки применяются для задач острой фокусировки света [1], для микроманипуляции [2], для передачи сигналов в задачах телекоммуникаций [3]. Цилиндрические векторные пучки могут быть сформированы во внутрирезонаторной оптической системе лазера поляризационно-селективными оптическими элементами [4]. Во внерезонаторной оптической цепи поляризованные цилиндрические векторные пучки могут создаваться однопучковыми и многопучковыми методами. В однопучковых схемах для создания цилиндрических векторных пучков может применяться оптический элемент на основе секторных пластинок [5] или пропускание через анизотропный оптический кристалл, в котором происходит слияние обыкновенного и необыкновенного луча [6]. Ранее в работе [7] исследовалось создание цилиндрических векторных пучков с помощью интерференционного поляризатора. С помощью многопучковых методов можно формировать любые типы векторных пучков, и применим для любой длины волны и основан на когерентной суперпозиции пары различных мод, например, с помощью классического интерферометра [8]. Разделение пучков и их сведение может осуществляться с помощью специальных неполяризуемых светоделителей [9], с помощью ДОЭ [10] и простых решеток [11] или комбинацией различных вариантов. При сведении пучков важно обеспечить их параллельность. Изготовление ДОЭ или решеток для разделения или сведения пучков обладает малой универсальностью, сложностью перестройки длины волны, а также недостаточной эффективностью. Пространственный модулятор света (ПМС), предлагаемый в данной работе

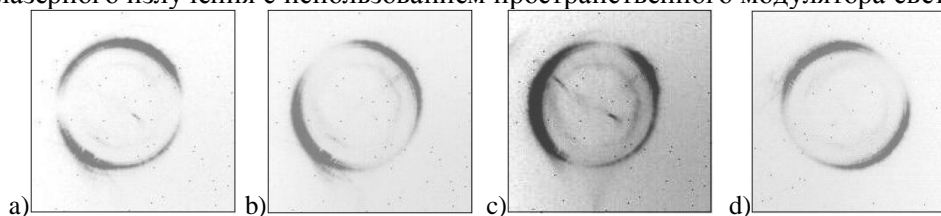
для формирования двух пучков в интерферометре и кубик для их сведения предложено использовать в данной работе.

## 2. Экспериментальное исследование создания цилиндрических векторных пучков

В нашей работе предложена схема с одним ПМС и без дополнительных линз. Потребность в дополнительных линзах устраняется за счет включения в схему интерферометра Маха-Цендера в полной конфигурации. Следует заметить, что многие ПМС предназначены для работы в первом порядке дифракции из-за довольно существенных помех, создаваемых в нулевом порядке по причине недостаточной дифракционной эффективности. Предложенная схема интерферометра позволяет легко комбинировать нужные порядки дифракции за счет настройки. Оптическая схема приведена на рис. 1.



**Рисунок 1.** Интерференционная схема для генерации поляризационно-неоднородного лазерного излучения с использованием пространственного модулятора света.



**Рисунок 2.** Распределения интенсивности в выходном пучке в зависимости от положения анализатора а)  $0^\circ$ , б)  $45^\circ$ , в)  $90^\circ$ , г)  $135^\circ$ .

## 3. Заключение

Мы рассмотрели работу ДОЭ в виде ступеньки на поверхности анизотропного кристалла. Мы разработали метод изготовления секторных пластин для преобразования поляризационного состояния пучков. Разработан и внедрен метод, основанный на травлении кристалла кальцита. Полученная ширина ступеней на кристалле кальцита в 4 раза меньше ширины стыков в преобразователе, собранном из полуволновых пластин. Мы численно моделировали преобразования поляризации, когда свет проходит через преобразователь на разных длинах волн, а также когда проходящий луч фокусируется линзой. Результаты экспериментального исследования изготовленного четырехсекторного поляризационного преобразователя хорошо согласуются с результатами расчетов и численного моделирования.

## 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] Соيفер, В.А. Вращение микрочастиц в световых полях / В.А. Соифер, 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, S. 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.

## Spatial light modulator for creating vector beams

V.V. Podlipnov<sup>1,2</sup>, S.V. Karpeev<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

**Abstract.** An optical scheme for the formation of cylindrical vector beams with a given polarization state based on the use of a spatial light modulator is proposed and investigated. The modal composition of the vector beam is formed by specifying two modes in different parts of the spatial light modulator. Further, the modes propagate at the two arms of the interferometer to change the initial polarization state. Mixing is carried out by a cube. To verify the operation of the described optical setup, first Gauss-Hermite (0, 1) and (1, 0) modes were formed in the corresponding sections of the PMS. The modes were formed in the first diffraction order by setting the phase DOE with an imposed lattice. Experimental intensity distributions with corresponding analyzer positions are presented, confirming the formation of radial polarization.