

Определение вихревого спектра векторных LG пучков методом моментов интенсивности

С.И. Халилов
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Симферополь, Россия
server.khalilov.94@maol.ru

М.В. Брещко
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Симферополь, Россия
mihailbretcko4@gmail.com

Я.Е. Акимова
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Симферополь, Россия
ak1mova.yana@yandex.ru

А.В. Воляр
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Симферополь, Россия
volyar@cfuv.ru

А.О. Ивахненко
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Симферополь, Россия
ar1nalva@mail.ru

Аннотация — В данной работе приведены экспериментальные исследования по формированию векторных пучков света интерферометрическим методом. Впервые использован метод измерения вихревого спектра для анализа скалярной структуры поля в ортогональных компонентах.

Ключевые слова — пучки Лагерра-Гаусса, цилиндрические векторные пучки, мультиплексирование, пространственный модулятор света, оптические вихри, демультиплексирование, Стокс-поляриметр

1. ВВЕДЕНИЕ

Поляризация – одно из важных свойств света. Векторная природа и способность его взаимодействовать с веществом дает возможность существования многим оптическим устройствам и систем. Распространение и взаимодействие поляризации с материалами широко изучались в метрологии, технологиях отображения, хранения данных, оптической связи, материаловедении и астрономии, а также в биологических исследованиях. Большинство исследований касалось пространственно однородных поляризаций, т.е. поляризационные параметры во всех точках поперечного сечения лазерного пучка одинаковы.

Особый интерес представляют пучки, имеющие аксиальную симметрию всех параметров лазерного излучения, включая поляризацию, например пучки с радиальным и азимутальным направлением поляризации [1]. Цилиндрические с аксиальной симметрией векторные пучки имеют множество приложений, включая микроскопию, литографию, ускорение электронов, обработку материалов, высокоразрешающую метрологию, микроэллипсометрию и спектроскопию [2].

Существуют две группы методов получения цилиндрических векторных пучков: внутррезонаторные и внрезонаторные. В первом случае в составе резонатора используют поляризационно-селективные оптические элементы. Этот метод является предпочтительным для мощных лазеров, имеющий высокий коэффициент усиления активной среды, низкую добротность резонатора и относительно низкое качество излучения [3, 4].

Главным преимуществом внрезонаторных методов для формирования поляризационно-неоднородных мод является универсальность. Чаще всего внрезонаторные методы основаны на когерентной суперпозиции пары

обычных мод, например с помощью интерферометра. Таким способом можно формировать любые типы цилиндрических векторных пучков и, в принципе, такой метод применим для любой длины волны. Кроме интерференционных методов [5] известны схемы с использованием маломодовых оптических волокон и нематических жидкокристаллических пространственных модуляторов света [6].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные исследования по формированию векторных пучков света, проводились на установке представленной, на рис. 1.

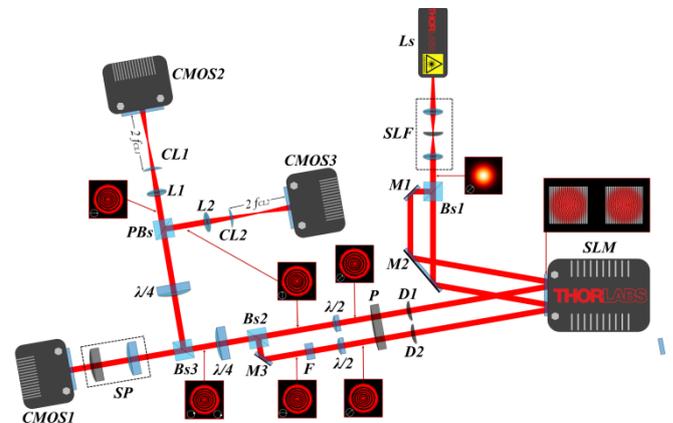


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: L_s – He-Ne лазер ($\lambda=0,633$ мкм), SLF – пространственный световой фильтр, M – зеркало, Bs – делительная призма, SLM – пространственный модулятор света, D – диафрагма, P – поляризатор, $\lambda/2$ – полуволновая пластина, F – световой фильтр, $\lambda/4$ – четверть волновая пластина, PBs – поляризационная делительная призма, $L1,2$ – сферическая линза ($f1,2=15$ см), CL – цилиндрическая линза ($fcl=7$ см), SP – Стокс-поляриметр, $CMOS$ – камера

Свет от источника L_s после пространственного фильтра SLF проходя через делительную призму $Bs1$ образует равноплечный интерферометр Маха - Цендера. Зеркалами $M1$ и $M2$ свет попадая на матрицу SLM типа Thorlabs EXULUS-4K 1/M, где записаны 2 амплитудные голограммы как показано на рис. 1, дифрагирует образуя спектр, состоящий из оптических вихрей. При помощи диафрагм $D1$ и $D2$ выделяем дифракционные порядки $k = +1$ в обоих плечах, переносящие оптические вихри с топологическим зарядом $l = +1$ и $l = -1$. Поляризатором P и полуволновыми пластинами $\lambda/2$ формируем в обоих плечах ортогональные линейные состояния

поляризации. На светоделительном кубике Bs_2 , являющийся мультиплексором, складываем пучка света. Чтобы каждая мода пучка содержала оптические вихри в явной форме необходимо перейти в циркулярно поляризованный базис. На эксперименте это преобразование осуществляет $\lambda/4$ пластинка, расположенная после светоделительного кубика Bs_2 . Далее, для параллельного измерения векторной и скалярной структуры света при помощи делительной призмы Bs_3 создаем 2 плеча. В первом плече при помощи Стокс-поляриметра, состоящего из поляризатора и четверть волновой пластины производим измерения распределения интенсивности 6 стоксовых компонент на камеру $CMOS$ и при помощи дифференциального поляриметра строим векторную структуру, рис. 2а [7, 8]. Во втором плече для измерения вихревого спектра методом предложенным профессором А.В. Воляром [9], при помощи четверть волновой пластины $\lambda/4$ и поляризационной делительной призмы PBs разделяем векторный пучок по ортогональным линейным состояниям поляризации и производим измерения, рис. 2б.

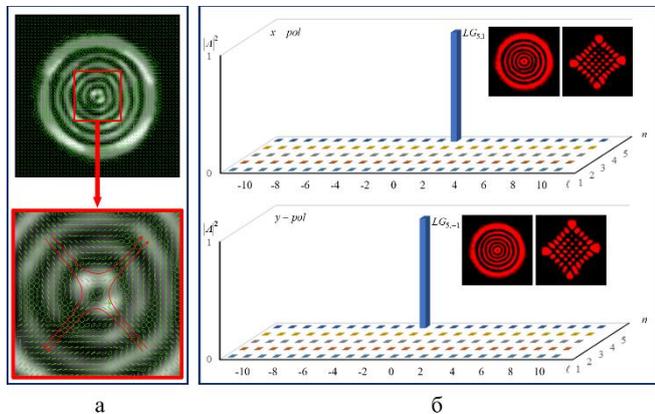


Рис. 2. (а) Распределение поляризации HE моды и (б) вихревой спектр после разделения по ортогональным состояниям поляризации

Также на рис. 3, приведена тонкая структура стандартных векторных мод, полученная на экспериментальной установке представленной на рис. 1.

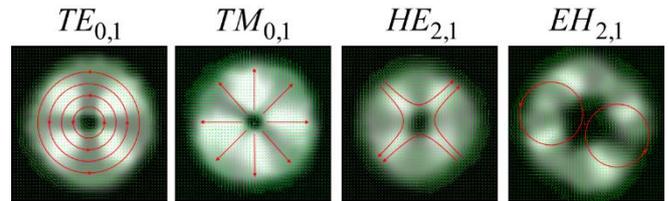


Рис. 3. Поляризационная структура TE , TM , HE и EH мод

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены экспериментальные исследования по формированию векторных цилиндрических пучков света интерферометрическим методом. Впервые использован метод измерения вихревого спектра для анализа скалярной структуры поля в ортогональных компонентах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хонина, С.Н. Формирование неоднородно-поляризованных лазерных пучков методами дифракционной, интерференционной и кристаллической оптики: учеб. Пособие / С.Н. Хонина, С.В. Карпеев, В.Д. Паранин. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017 – 136 с.
- [2] Zhan, Q. Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications / Q. Zhan // Advances in Optics and Photonics. – 2009. – Vol. 1. – P. 1 – 57. DOI: 10.1364/AOP.1.000001.
- [3] Kozawa, Yu. Generation of a radially polarized laser beam by use of a conical Brewster prism / Yu. Kozawa, Sh. Sato // Opt. Lett. – 2005. – Vol. 30(22). – P. 3063 – 3065. DOI: 10.1364/OL.30.003063.
- [4] Kawauchi, H. Simultaneous generation of helical beams with linear and radial polarization by use of a segmented half-wave plate / H. Kawauchi, Yu. Kozawa, Sh. Sato et al. // Opt. Lett. – 2008. – Vol. 33(4). – P. 399 – 401. DOI: 10.1364/OL.33.000399.
- [5] 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. DOI: 10.1364/AO.29.002234.
- [6] Хонина, С.Н. Дифракционные оптические элементы, согласованные с модами Гаусса-Лагерра / С.Н. Хонина, В.В. Котляр, В.А. Сойфер // Компьютерная оптика. – 1997. – Т. 17. – С. 25–31.
- [7] Born, M. Principles of optics / M. Born, E. Wolf – Oxford, London, Edinburgh, New York, Paris, Frankfurt, 1968. – 854 p.
- [8] Пат. 65939 Украина Дифференциальный Поляриметр / Фадеева Т.А., Воляр А.В.; Заявитель и патентообладатель Таврический национальный университет. - № 65939; опубл. 15.04.04, бюл. № 4.
- [9] Volyar, A.V. Beyond the light intensity or intensity moments and measurements of the vortex spectrum in complex light beams / A.V. Volyar, M.V. Bretsko, Ya.E. Akimova, Yu.A. Egorov // Computer Optics. – 2018. – Vol. 42(5). – P. 736–743. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-42-5-736-743.