

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-НЕОДНОРОДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА НА ОСНОВЕ ПУЧКОВ С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Карпеев С.В.^{1,2}, Хонина С.Н.^{1,2}, Казанский Н.Л.^{1,2}, Моисеев О.Ю.¹

¹ Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН,

² Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва

Аннотация

Рассмотрен новый вариант применения разработанной ранее оптической системы для формирования поляризационно-неоднородного лазерного излучения, основанный на суммировании двух пучков с круговой поляризацией. Один из пучков поляризован по правому кругу, а другой – по левому, причём пучки имеют фазовые сингулярности противоположных знаков. Для получения парных цилиндрических пучков высокого порядка рассчитаны и изготовлены соответствующие дифракционные оптические элементы (ДОЭ). Проведённые эксперименты показали улучшение качества формирования пучков.

Ключевые слова: поляризационно-неоднородные пучки, круговая, радиальная и азимутальная поляризация, когерентная суперпозиция, дифракционные оптические элементы, оптические вихри, несущая частота, цилиндрические пучки высокого порядка.

Введение

В последнее время всё большее внимание исследователей привлекают лазерные пучки с поляризационно-неоднородным распределением. Наибольший практический интерес представляют так называемые цилиндрические (с аксиальной симметрией) векторные пучки, которые имеют множество приложений, включая микроскопию, литографию, ускорение электронов, обработку материалов, высоко-разрешающую метрологию, микроэллипсометрию и спектроскопию [1].

Известны различные схемы генерации аксиально-поляризованных пучков, использующие специальные устройства как внутри резонаторов, так и вне. Главным преимуществом внerezонаторных методов является универсальность. Внerezонаторные методы, как правило, основаны на когерентной суперпозиции пары обычных мод, например, с помощью интерферометра [2-4]. Таким способом можно формировать любые типы векторных пучков, и, в принципе, такой метод применим для любой длины волны.

Наиболее известный вариант интерференционного метода основан на сложении мод Эрмита-Гаусса (ЭГ) $(0, 1)$ и $(1, 0)$ с ортогональными линейными поляризациями. В этом варианте получается радиально-поляризованное распределение, соответствующее радиальной составляющей кольцевой моды Лагерра-Гаусса (ЛГ) $(0, 1)$. Также может быть получена та же мода с азимутальным и смешанным типами поляризации в зависимости от знака и комплексного множителя при суммировании исходных мод. Исходные моды ЭГ получают разными способами. В работе [2] в качестве входного излучения использована одна мода, полученная внутрирезонаторным способом, из которой далее в специальной довольно сложной оптической схеме получена вторая мода, взаимно когерентная исходной, но с другой поляризацией. В работе [4] требуемая пара мод получается в специальном интерферометре из основной моды лазера, причём в каждом плече интерферометра установлены спиральные фазовые пла-

стинки. Однако оптическая схема двойного интерферометра получается весьма сложной в сборке и юстировке, главной трудностью является реализация спиральной фазовой пластинки, работающей в нулевом порядке дифракции [5]. Из-за указанных трудностей экспериментальные результаты, представленные в работе [4], демонстрируют лишь удовлетворительное качественное совпадение с результатами численного моделирования.

Наконец, возможен вариант получения исходных мод при помощи дифракционных оптических элементов (ДОЭ). В работе [6] предложен специальный ДОЭ, выполненный на подложке из двулучепреломляющего материала. Такой ДОЭ производит моду ГЭ $(0, 1)$ в обыкновенном и ГЭ $(1, 0)$ в необыкновенном лучах, которые формируются на определённом расстоянии. Далее моды подвергаются дополнительному фазовому преобразованию при помощи второго ДОЭ, после чего получается радиально-поляризованная мода ЛГ $(0, 1)$. В качестве недостатков метода следует прежде всего отметить высокую сложность изготовления многоуровневого ДОЭ с максимальной высотой рельефа в несколько длин волн на кварцевой подложке. Видимо, по указанной причине в работе отсутствует натурный эксперимент с предложенными ДОЭ. Кроме того, такая пара ДОЭ предназначена лишь для формирования одной определённой моды с заданным типом поляризации и не допускает перестройки на другие типы поляризаций. Другой вариант использования ДОЭ был ранее предложен авторами данной статьи и состоит в использовании пары отдельных ДОЭ, производящих требуемые моды. Этот вариант был реализован авторами ранее в работах [7, 8] с использованием ДОЭ, формирующих лазерные пучки в нулевом порядке дифракции, а в работе [9] – с использованием бинарных ДОЭ с несущей частотой.

Кроме получения радиально-поляризованной моды ЛГ $(0, 1)$, актуальной является задача получения радиально-поляризованных мод более высоких порядков, которые могут быть полезны в задаче ост-

рой фокусировки и сверхразрешения. Однако получить ЛГ моды более высоких радиальных порядков, т.е. $(n, 0)$, с помощью рассмотренного варианта интерференционного метода проблематично, так как в этом случае в суперпозиции участвует более двух мод ЭГ. В работе [4] был предложен и реализован метод преобразования цилиндрического пучка низкого порядка, полученного на выходе поляризационно-модового сумматора с помощью дополнительного аксикона, в моду Бесселя. Недостатком данного метода является, безусловно, наличие дополнительного оптического элемента. Кроме того, как было указано выше, сама схема получения цилиндрического пучка низкого порядка в работе [4] весьма сложна как в плане настройки, так и в плане изготовления элементов.

1. Описание метода поляризационного суммирования на основе пучков с круговой поляризацией

Другой вариант получения радиально-поляризованных мод более высоких порядков [2] основан на суммировании двух пучков с круговой поляризацией. Один из пучков поляризован по правому кругу, а другой – по левому, причём пучки имеют фазовые сингулярности противоположных знаков. В зависимости от знака при суммировании пучков на выходе схемы получается либо радиальная, либо азимутальная поляризация. При этом никаких ограничений на радиальные распределения в суммируемых пучках не накладывается. Они лишь должны быть одинаковыми. Однако экспериментальная реализация указанного принципа в работе [2] натолкнулась на серьёзные трудности. Целью работы являлось преобразование гауссова пучка в пучок низкого порядка с радиальной поляризацией. Из-за несовершенства спиральных фазовых пластинок в работе [2] не удалось получить экспериментальных результатов приемлемого качества. Полученные распределения интенсивности как до анализатора, так и после него обладают сильной асимметрией, а интенсивность в центральной части пятна однородна и меняется в зависимости от положения анализатора. Всё указанное свидетельствует об отсутствии даже качественного совпадения экспериментальных результатов с результатами моделирования.

Трудности, связанные с изготовлением спиральных фазовых пластинок высокого качества, работающих в нулевом порядке дифракции, присутствуют и по сей день. Однако легко видеть, что реализация описанного принципа получения пучков с радиальной и азимутальной поляризацией очень хорошо укладывается в концепцию предложенной авторами схемы [9], где применяются ДОЭ с несущей частотой. Действительно, формирование пучков с вихревыми фазовыми сингулярностями в первом порядке дифракции хорошо известно [10, 11] и не вызывает никаких трудностей (в отличие от формирования их в нулевом порядке). Кроме того, образова-

ние в плюс-минус первом порядках сопряжённых по фазе пучков полностью соответствует геометрии предложенной оптической схемы (рис. 1). Как легко видеть, складываться будут именно пучки с противоположными направлениями фазового винта, что и требуется в данном случае. Таким образом, ненужное или вредное в большинстве приложений свойство ДОЭ с несущей формировать сопряжённые порядки дифракции в данном случае является необходимым и полезным.

Применение ДОЭ даёт возможность решить одновременно и другую важную проблему, а именно: получение радиально-поляризованных мод более высоких порядков без дополнительных оптических элементов. Как отмечалось выше, никаких ограничений на радиальные распределения суммируемых пучков данный метод не накладывает. Это означает полную свободу в выборе формируемых данным методом цилиндрических векторных пучков, поскольку методы дифракционной оптики позволяют получать из основной моды лазера любые другие моды и пучки с высокой эффективностью.

2. Экспериментальное формирование поляризационно-неоднородных пучков

Оптическая система для суммирования пучков с круговой поляризацией ничем не отличается от описанной ранее в [9], кроме наличия четвертьволновой пластинки перед каждым ДОЭ с несущей частотой вместо одной полуволновой пластинки перед первым ДОЭ. Также сформированные пучки дополнительно исследовались в фокусе Фурье-преобразующего объектива. Оптическая схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

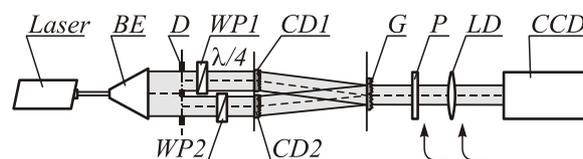


Рис. 1. Схема когерентного суммирования двух световых полей с круговыми поляризациями и фазовыми вихревыми пучками первого порядка с противоположными знаками.

BE – расширитель лазерного пучка, D – диафрагма, WP1, WP2 – четвертьволновые пластинки,

CD1, CD2 – ДОЭ с несущей частотой,

G – дифракционная решётка, P – поляризатор-анализатор, L – Фурье-объектив, CCD – ПЗС-камера

Излучение лазерного источника оптического излучения с линейной поляризацией расширяется расширителем лазерного пучка BE и освещает кодированные несущей частотой ДОЭ CD1 и CD2 через четвертьволновые пластинки WP1 и WP2, причём пластинки повернуты таким образом, чтобы один из ДОЭ освещался излучением, поляризованным по правому кругу, а другой – по левому. Каждый кодированный ДОЭ формирует пучки с фазовыми сингулярностями в +1-ом и –1-ом порядках дифракции, причём эти пучки являются комплексно-сопряжёнными. Пучки, сформированные в +1-ом

порядке дифракции одного элемента и в -1 -ом порядке дифракции другого элемента, распространяются в сходящихся направлениях и попадают на дифракционную решётку G , как показано на рис. 1. Решётка обеспечивает суммирование $+1$ -го дифракционного порядка для одного ДОЭ и -1 -го порядка для другого ДОЭ. Таким образом, обеспечивается суммирование комплексно сопряжённых пучков с противоположными направлениями фазовых вихрей, что и требуется для получения нужного результата. Изменение фазового сдвига между пучками в оптической системе осуществляется, как и ранее, за счёт сдвига дифракционной решётки поперёк оптической оси.

Для проведения экспериментов была реализована оптическая система в соответствии со схемой на рис. 1. На одну подложку были записаны три пары бинарно-амплитудных ДОЭ, формирующих фундаментальную гауссову моду, моду ЛГ $(3, 0)$ и беселевый пучок (рис. 2) в ± 1 -ом порядках. К каждому из пучков были добавлены вихревые фазовые составляющие первого порядка.

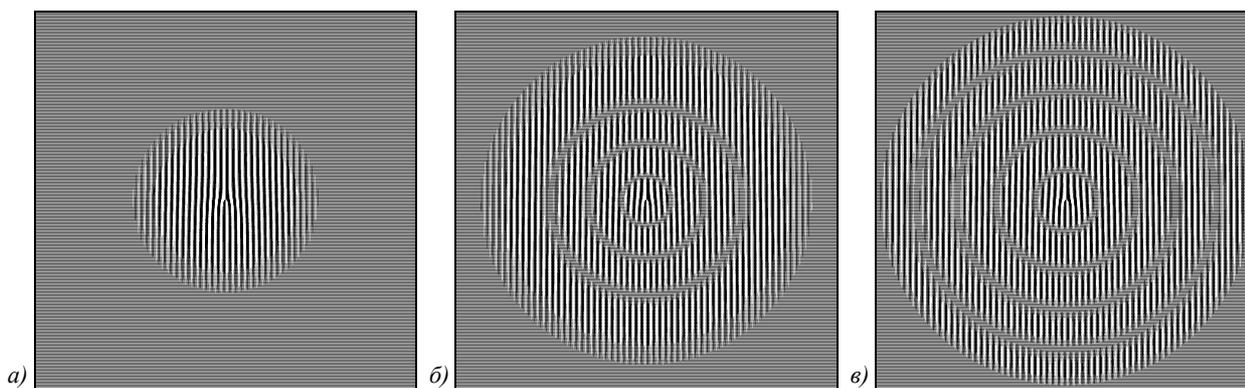


Рис. 2. Вид бинарных кодированных ДОЭ, формирующих фундаментальную гауссову моду (а), моду ЛГ $(3, 0)$ (б) и беселевый пучок с добавленными вихревыми фазовыми составляющими первого порядка (в)

Сравнение с полученными ранее в [7] результатами показывает несколько более высокий уровень шумов на изображениях. Для борьбы с шумами, а также для проверки модовых свойств сформированных пучков были получены аналогичные распределения после прохождения Фурье-каскада, образованного объективом с фокусным расстоянием 750 мм. Такой выбор фокусного расстояния был обусловлен близостью размеров получаемых спектров к размерам исходных распределений.

На рис. 3 приведены распределения интенсивности, зафиксированные при отсутствии анализатора на выходе оптической схемы и в фокальной плоскости после введения дополнительной линзы.

Как видно из рис. 3, гауссовы пучки демонстрируют модовый характер – их распределение на выходе из конвертора и в дальней зоне (в фокусе линзы) практически не меняются. Бесселевый пучок также обладает присущими таким пучкам свойствами – при распространении в ближней зоне дифрак-

ционное кодирование элементов выполнялось с помощью метода частичного кодирования [12], позволяющего выдержать компромисс между точностью и дифракционной эффективностью формируемых пучков [13].

Запись амплитудных бинарных ДОЭ выполнялась при помощи кругового лазерного записывающего устройства CLVS-200. Каждый ДОЭ имел размер 2×2 мм с несущей частотой около 30 лин/мм, расстояние между парными ДОЭ составляло 10 мм. По той же технологии, но на другой подложке была изготовлена соответствующая дифракционная решётка.

В оптической схеме, представленной на рис. 1, в качестве лазерного источника использовался гелий-неоновый лазер ЛГН-215. Расширитель пучка включал $8 \times$ микрообъектив, диафрагму 50 мкм и коллимирующий объектив с фокусным расстоянием 300 мм. Параметры собранной оптической схемы были выбраны близкими к соответствующим параметрам оптической схемы, описанной в [7], для получения сравнимых результатов.

Имеется концентрация интенсивности в центральной части пучка, а в дальней зоне энергия переходит в периферийную зону. Явно выделяются два кольца, радиус которых связан с масштабом бесселевого пучка. Наличие двух спектральных колец вместо одного объясняется бинарной структурой оптического элемента, использованного для генерации бесселевого пучка [14].

На рис. 4 показано действие поляризационного анализатора при различных положениях на расстоянии 200 мм от решётки, а на рис. 5 – в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием 750 мм. Структура распределений соответствует радиальной поляризации сформированных пучков, которая сохраняется при распространении пучков как в ближней, так и дальней зоне дифракции.

Возможность формирования широкого спектра радиально-поляризованных пучков полезна в задаче острой фокусировки и сверхразрешения [15].

В процессе юстировки данной оптической системы была также выявлена причина возможной асимметрии получаемых распределений интенсивности, которая кроется в кривизне волнового фронта пучка, освещающего ДОО. Только при точной юстировке коллиматора по картине интерференции пучков, отражённых от поверхностей наклонной плоскопараллельной пластины, расходимость освещающего пучка становится

достаточно малой, чтобы были получены корректные результаты.

Заключение

Таким образом, предложен и экспериментально исследован новый подход к формированию пучков высшего порядка с радиальной поляризацией, основанный на сложении сформированных ДОО с несущей частотой пучков с противоположными направлениями круговых поляризаций и фазовых вихрей.

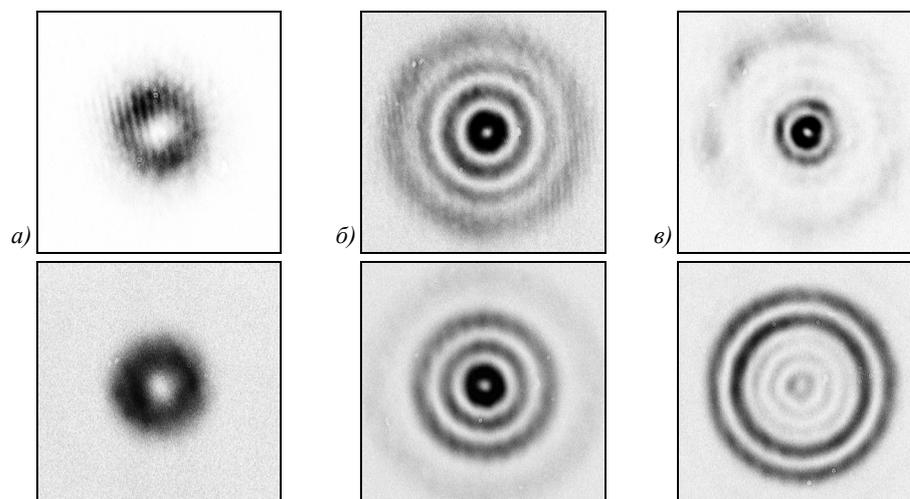


Рис. 3. Вид пучков низшего (а) и высшего порядка (б), (в) с радиальной поляризацией на расстоянии 200 мм от решётки (верхняя строка) и в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием 750 мм (нижняя строка)

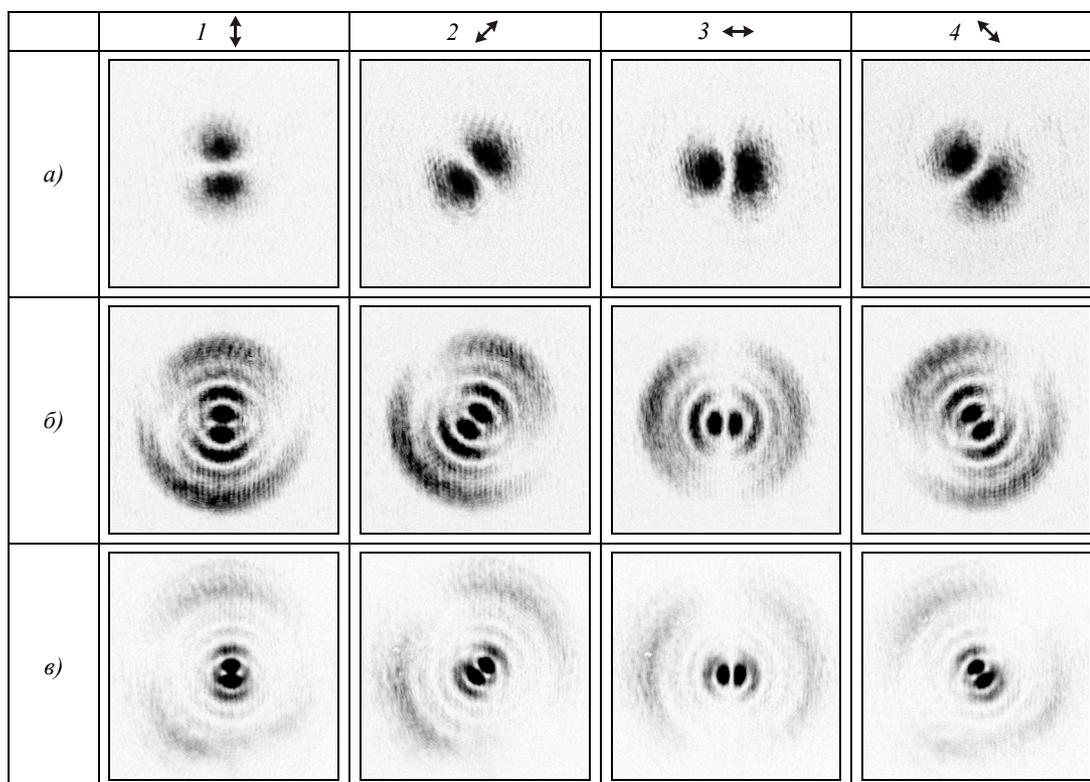


Рис. 4. Распределения интенсивности (негатив) на выходе оптической схемы при различных положениях анализатора (1 – вертикальное расположение, 2 – повернутое вправо на 45° , 3 – горизонтальное положение, 4 – повернутое влево на 45°) для радиально-поляризованного пучка низшей гауссовой моды (а), гауссовой моды высокого порядка (б), бесселевой моды (в), полученных суперпозицией пучков с круговой поляризацией

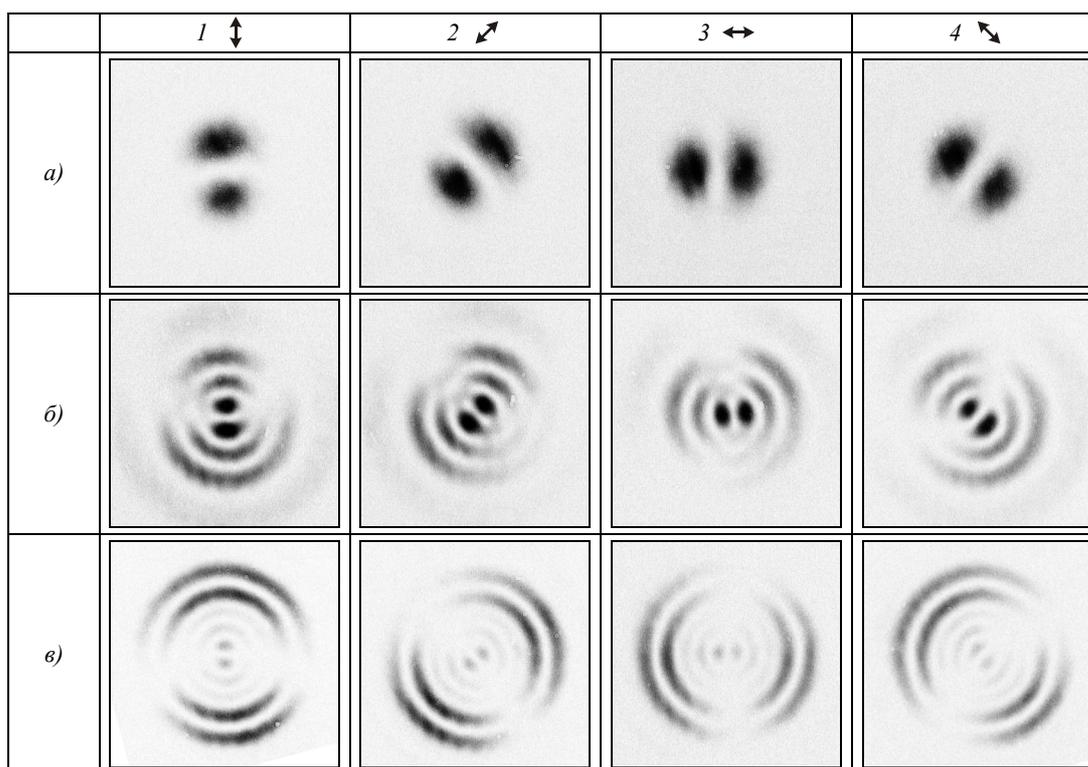


Рис. 5. Распределения интенсивности (негатив) в фокальной плоскости линзы, установленной на выходе оптической схемы при различных положениях анализатора для радиально-поляризованного пучка низшей гауссовой моды (а), гауссовой моды высокого порядка (б), бесселевой моды (в), полученных суперпозицией пучков с круговой поляризацией

Данный подход экспериментально реализован на основе доработки предложенной ранее системы когерентного сложения полей, включавшей ДОО с несущими частотами. Предложенная схема позволяет легко получать лазерные пучки с радиальной и азимутальной поляризацией и произвольным распределением радиальной амплитуды. Такие пучки могут быть полезны в задаче острой фокусировки и сверхразрешения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (грант CRDF PG08-014-1), грантов РФФИ 10-07-00109-а, 10-07-00438-а, 11-07-00153-а и гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ НШ-7414.2010.9.

Литература

- Zhan, Q. Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications / Q. Zhan // *Advances in Optics and Photonics*. – 2009. – V. 1. – P. 1-57.
- Tidwell, S.C. Generating radially polarized beams interferometrically / S.C. Tidwell, D.H. Ford and W.D. Kimura // *Applied Optics*. – 1990. – V. 29. – P. 2234-2239.
- Passilly, N. Simple interferometric technique for generation of a radially polarized light beam / N. Passilly, R. de Saint Denis, K. Ait-Ameur, F. Treussart, R. Hierle and J.-F. Roch // *J. Opt. Soc. Am. A*. – 2005. – V. 22(5). – P. 984-991.
- Tidwell, S.C. Efficient radially polarized laser beam generation with a double interferometer / S.C. Tidwell, G.H. Kim and W.D. Kimura // *Applied Optics*. – 1993. – V. 32. – P. 5222-5229.
- Балалаев, С.А. Исследование возможности формирования гипергеометрических лазерных пучков методами дифракционной оптики / С.А. Балалаев, С.Н. Хонина, Р.В. Скиданов // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2008. – № 10(3). – С. 694-706.
- Niu, C.H. A new method for generating axially-symmetric and radially-polarized beams / C.H. Niu, B.Y. Gu, B.Z. Dong and Y. Zhang // *J. Phys. D*. – 2005. – Vol. 38. – P. 827-832.
- 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.
- Khonina, S.N. Grating-based optical scheme for the universal generation of inhomogeneously polarized laser beams / S.N. Khonina, S.V. Karpeev // *Applied Optics*. – 2010. – V. 49(10). – P. 1734-1738.
- Карпеев, С.В. Простой способ генерации поляризационно-неоднородного лазерного излучения, основанный на применении ДОО / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина // *Компьютерная оптика*. – 2011. – Т. 34, № 1. – С. 54-62.
- Khonina, S.N. Generation of rotating Gauss-Laguerre modes with binary-phase diffractive optics / S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer, M. Honkanen, J. Lautanen, J. Turunen // *Journal of Modern Optics*. – 1999. – V. 46(2). – P. 227-238.
- Khonina, S.N. Generating a couple of rotating nondiffracting beams using a binary-phase DOE / S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer, J. Lautanen, M. Honkanen, J. Turunen // *Optik*. – 1999. – V. 110(3). – P. 137-144.
- Котляр, В.В. Метод частичного кодирования для расчёта фазовых формирователей мод Гаусса-Эрмита / В.В. Котляр, С.Н. Хонина, В.А. Сойфер // *Автометрия*. – 1999. – № 6. – С. 74-83.

13. **Khonina, S.N.** Encoded binary diffractive element to form hyper-geometric laser beams / S.N. Khonina, S.A. Balalayeve, R.V. Skidanov, V.V. Kotlyar, B. Paivanranta, J. Turunen // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* – 2009. – V. 11. – P. 065702-065708.
14. **Хонина, С.Н.** Экспериментальное исследование дифракции линейно-поляризованного Гауссова пучка на бинарных микроаксонах с периодом близким к длине волны / С.Н. Хонина, Д.В. Нестеренко, А.А. Морозов, Р.В. Скиданов, И.А. Пустовой // *Компьютерная оптика.* – 2011. – Т. 35, № 1. – С. 11-21.
15. **Хонина, С.Н.** Анализ возможности субволновой локализации света и углубления фокуса высоко-апертурной фокусирующей системы при использовании вихревой фазовой функции пропускания / С.Н. Хонина, С.Г. Вологовский // *Электромагнитные волны и электронные системы.* – 2010. – № 11. – С. 6-25.

References

1. **Zhan, Q.** Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications / Q. Zhan // *Advances in Optics and Photonics.* – 2009. – V. 1. – P. 1-57.
2. **Tidwell, S.C.** Generating radially polarized beams interferometrically / S.C. Tidwell, D.H. Ford and W.D. Kimura // *Applied Optics.* – 1990. – V. 29. – P. 2234-2239.
3. **Passilly, N.** Simple interferometric technique for generation of a radially polarized light beam / N. Passilly, R. de Saint Denis, K. Ait-Ameur, F. Treussart, R. Hierle and J.-F. Roch // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2005. – V. 22(5). – P. 984-991.
4. **Tidwell, S.C.** Efficient radially polarized laser beam generation with a double interferometer / S.C. Tidwell, G.H. Kim and W.D. Kimura // *Applied Optics.* – 1993. – V. 32. – P. 5222-5229.
5. **Balalaeve, S.A.** Investigation of possibility to form hypergeometric laser beams by methods of diffractive optics / S.A. Balalaeve, S.N. Khonina, R.V. Skidanov // *Izvest. SNC RAS.* – 2008. – Vol. 10, N 3. – P. 694-706. – (In Russian).
6. **Niu, C.H.** A new method for generating axially-symmetric and radially-polarized beams / C.H. Niu, B.Y. Gu, B.Z. Dong and Y. Zhang // *J. Phys. D.* – 2005. – V. 38. – P. 827-832.
7. **Karpeev, S.V.** The optical scheme for universal generation and conversion of nonuniform polarized laser beams by means of DOEs / S.V. Karpeev, S.N. Khonina // *Computer Optics.* – 2009. – V. 33, N 3. – P. 261-267. – (In Russian).
8. **Khonina, S.N.** Grating-based optical scheme for the universal generation of inhomogeneously polarized laser beams / S.N. Khonina, S.V. Karpeev // *Applied Optics.* – 2010. – V. 49(10). – P. 1734-1738.
9. **Karpeev, S.V.** Simple technique of generation inhomogeneously polarized laser beams by means of DOEs / S.V. Karpeev, S.N. Khonina // *Computer Optics.* – 2011. – V. 34, N 1. – P. 54-62. – (In Russian).
10. **Khonina, S.N.** Generation of rotating Gauss-Laguerre modes with binary-phase diffractive optics / S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer, M. Honkanen, J. Lautanen, J. Turunen // *Journal of Modern Optics.* – 1999. – V. 46(2). – P. 227-238.
11. **Khonina, S.N.** Generating a couple of rotating nondiffracting beams using a binary-phase DOE / S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer, J. Lautanen, M. Honkanen, J. Turunen // *Optik.* – 1999. – V. 110(3). – P. 137-144.
12. **Kotlyar, V.V.** Method of partial coding for calculation of phase formers of Gauss-Hermite modes / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, V.A. Soifer // *Avtometriya.* – 1999. – V. 6. – P. 74-83. – (In Russian).
13. **Khonina, S.N.** Encoded binary diffractive element to form hyper-geometric laser beams / S.N. Khonina, S.A. Balalayeve, R.V. Skidanov, V.V. Kotlyar, B. Paivanranta, J. Turunen // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* – 2009. – V. 11. – P. 065702-065708.
14. **Khonina, S.N.** Experimental research of diffraction of a linearly-polarized Gaussian beam by binary microaxicon with the period close to wavelength / S.N. Khonina, D.V. Nesterenko, A.A. Morozov, R.V. Skidanov, I.A. Pustovoy // *Computer Optics.* – 2011. – V. 35, N 1. – P. 11-21. – (In Russian).
15. **Khonina, S.N.** Possibility Analysis of Subwavelength Light Localization and Focus Extending for High-Aperture Focusing System Using Vortical Phase Transmission Function / S.N. Khonina, S.G. Volotovskiy // *Electromagnetic Waves and Electronic Systems.* – 2010. – N 11. – P. 6-25. – (In Russian).

FORMING INHOMOGENEOUSLY POLARIZED HIGHER-ORDER LASER BEAMS ON THE BASIS OF CIRCULARLY POLARISED BEAMS

*S.V. Karpeev*¹, *S.N. Khonina*^{1,2}, *N.L. Kazanskiy*^{1,2}, *O.Y. Moiseev*¹

¹ *Image Processing Systems Institute of the RAS,*

² *S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)*

Abstract

We propose an improved version of the earlier developed optical arrangement for forming inhomogeneously polarized laser radiation on the basis of the sum of two circularly polarised beams. One of these beams has right circularly polarization, and another – left, besides these beams has the phase vortices of opposite signs. DOEs for generating higher-order cylindrical beams was calculated and fabricated. In the experiments, the quality of the resulting beams is shown to be improved.

Key words: inhomogeneously polarized beams, circular, radial and azimuthal polarization, coherent superposition, diffractive optical elements, optical vortices, carrier frequency, higher-order cylindrical beams.

Сведения об авторах

Карпеев Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва; ведущий научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: дифракционная оптика, модовые и поляризационные преобразования, волоконная оптика, оптическая обработка изображений.

E-mail: karp@smr.ru.

Sergei Vladimirovich Karpeev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences; Professor of the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov. Leading researcher of the Image Processing Systems Institute of the RAS. Research interests: diffractive optics, singular optics, mode and polarization transformations, optical manipulating, optical and digital image processing.

Сведения об авторе Хониной Светлане Николаевне – см. стр. 216 этого номера.



Казанский Николай Львович, 1958 года рождения. В 1981 году с отличием окончил Куйбышевский авиационный институт (КуАИ, ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) – СГАУ) по специальности «Прикладная математика». Доктор физико-математических наук (1996 год), профессор, работает заместителем директора по научной работе и заведующим лабораторией дифракционной оптики Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН), профессором кафедры технической кибернетики СГАУ. Руководитель научно-образовательного центра компьютерной оптики, созданного совместно ИСОИ РАН и СГАУ, заведующий базовой (СГАУ в ИСОИ РАН) кафедрой высокопроизводительных вычислений. Является членом международных научных обществ SPIE и IAPR. Казанский Н.Л. – специалист в области дифракционной оптики, математического моделирования, обработки изображений и нанопотоники. В списке научных работ Н.Л. Казанского 240 статей, 7 монографий, 35 авторских свидетельств и патентов.

Страница в Интернете: <http://www.ipsi.smr.ru/staff/kazanskiy.htm>.

E-mail: kazanskiy@smr.ru.

Nikolay Lvovich Kazanskiy (b. 1958) graduated with honours (1981) from the S. P. Korolyov Kuibyshev Aviation Institute (presently, S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU)), majoring in Applied Mathematics. He received his Candidate in Physics & Maths (1988) and Doctor in Physics & Maths (1996) degrees from Samara State Aerospace University. He is the vice-director for research and the head of Diffractive Optics laboratory at the Samara Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS), holding a part-time position of professor at SSAU's Technical Cybernetics sub-department. He is the manager of the Research & Education Center of Computer Optics established jointly by SSAU and IPSI RAS, holding the chair of SSAU's base sub-department of High-Performance Computing at IPSI RAS. He is a SPIE and IAPR member. He is co-author of 240 scientific papers, 7 monographs, and 35 inventions and patents. His current research interests include diffractive optics, mathematical modeling, image processing, and nanophotonics.



Моисеев Олег Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: технологические процессы создания микроструктур дифракционной оптики.

E-mail: moiseev@smr.ru.

Oleg Yurevich Moiseev, Candidate of Technical Sciences; senior staff scientist of the Image Processing Systems Institute of the RAS. Research interests: technological process of diffractive optics.

Поступила в редакцию 29 апреля 2011 г.