

ДИФРАКЦИОННЫЕ АКСИКОНЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНО-ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОПЫ СТОЛЕТОВА

Скиданов Р.В.^{1,2}, Морозов А.А.¹

¹ Институт систем обработки изображений РАН,

² Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет) (СГАУ)

Аннотация

Предложен новый метод формирования радиально-поляризованного света, основанный на использовании дифракционного аксикона и стопы Столетова. Показана возможность формирования предложенным методом радиально-поляризованных световых пучков. Экспериментально реализовано формирование радиально-поляризованного светового пучка.

Ключевые слова: радиально-поляризованный свет, стопа Столетова, аксикон.

Введение

В последнее время появилась потребность в формировании лазерных пучков с поляризационно-неоднородным распределением [1–6]. Чаще всего нужно формировать пучки с радиальной симметрией и радиальным распределением поляризации. Такие пучки используются в литографии, ускорении элементарных частиц, обработке поверхностей материалов [7], острой фокусировке пучков [8], оптической микро-манипуляции [9].

Существует множество способов генерации радиально-поляризованных пучков. Большинство относится к внутрирезонаторным методам [2–6], в которых внутрь лазерного резонатора добавляется оптический элемент, например, рефракционный аксикон [6], который и приводит к формированию заданной структуры поляризации. Но внутрирезонаторные методы – это, как правило, жёстко заданная длина волны и структура поляризации. Если необходимо формировать структурно-поляризованный свет на разных длинах волн с возможностью изменения структуры поляризации, то лучше использовать внерезонаторные методы, которые основаны как на когерентной суперпозиции пары обычных пучков, полученной с помощью интерферометра [10–12], так и на использовании элементов, склеенных из нескольких секторов четвертьволновой пластинки [8]. Существует ряд работ, в которых преобразование поляризации в радиальную осуществляется с помощью субволновых дифракционных решёток [13–16], причём в [15] формирование субволновой структуры конвертора осуществляется с помощью использования фемтосекундного лазера. Таким способом можно формировать любые типы векторных пучков, и, в принципе, такой метод применим для любой длины волны. Однако большинство оптических схем с использованием интерферометров являются весьма сложными и неудобными в использовании. К недостаткам систем формирования радиально-поляризованного света с помощью секторных пластинок или субволновых решёток следует отнести технологическую сложность их изготовления. Особенно сложно изготавливать субволновые дифракционные решётки приемлемого качества. Вследствие этого первые работы, в которых описывался данный метод формирования радиально-

поляризованного света, ориентировались на излучение с длиной волны 10,6 мкм [13]. К тому же и секторные пластинки [8], и в ряде случаев субволновые решётки [16] формируют некую дискретную аппроксимацию радиально-поляризованного пучка, т.е. поляризация меняется дискретно по ограниченному набору секторов. Упростить оптические схемы для формирования структурно-поляризованных световых пучков можно за счёт использования дифракционных оптических элементов (ДОО) [17–19]. Однако предложенный в этих работах подход также достаточно сложен в использовании, если структурно-поляризованный пучок нужно в дальнейшем, например, использовать для формирования световой ловушки. Есть также весьма простые в реализации методы формирования структурно-поляризованного света, основанные на использовании жидкокристаллических конверторов [20, 21]. Однако жидкокристаллические конверторы обладают рядом недостатков, которые критичны, если требуется радиально-поляризованный пучок значительной мощности. Так, в [22] была показана возможность захвата прозрачных микрообъектов в минимуме интенсивности, при этом в расчётах там подразумевалось, что световая ловушка имеет радиальную поляризацию. Использование для такой задачи жидкокристаллического конвертора не всегда возможно из-за низкой эффективности и недостаточной лучевой стойкости.

Для использования радиально-поляризованного света при формировании таких ловушек в данной работе предлагается новый метод получения радиально-поляризованного света, полностью исключаящий интерференционное сложение световых пучков из оптической схемы. Для этого в паре с ДОО используется хорошо известный поляризующий прибор – стопа Столетова.

1. Принцип работы

Стопа Столетова работает на эффекте отражения света под углом Брюстера, в этом случае угол между преломлённым и отражённым лучами составляет 90° и отражённый луч полностью поляризован (рис. 1). В преломлённом луче свет становится частично поляризованным, и с каждым новым отражением степень поляризации растёт. Так, при числе пластин 10 в стопе Столетова степень поляризации преломлённого луча становится почти полной (>0,95).

Используя стопу Столетова и ДОЭ, который формирует распространяющиеся порядки под углом Брюстера, можно, очевидно, сформировать структурно-поляризованный световой пучок. Рассмотрим простейший случай формирования такого пучка. Пусть нужно сформировать радиально-симметричный пучок с радиальной поляризацией. Используем для этого дифракционный аксикон с периодом, удовлетворяющим условию.

$$\lambda / d = \sin(\arctg n), \tag{1}$$

где λ – длина волны, d – период линий аксикона, n – показатель преломления материала подложки и пластинок в стопе Столетова, на которой изготовлен аксикон. На рис. 2 приведена оптическая схема, которая позволяет получить радиально-симметричный пучок с радиально-поляризованным светом.

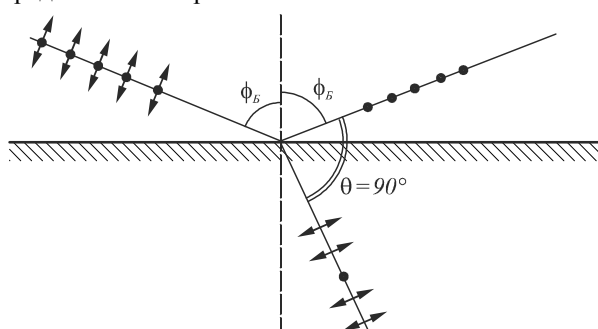


Рис. 1. Отражение под углом Брюстера

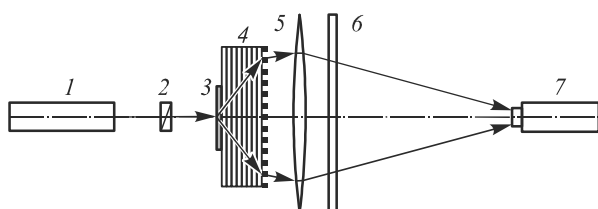


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер, 2 – полуволновая пластинка, 3 – аксикон, 4 – стопа Столетова, 5 – линза, 6 – поляризатор, 7 – ПЗС-камера

Полуволновая пластинка 2 используется для превращения линейно-поляризованного света в циркулярно-поляризованный. Аксикон 3 превращает узкий лазерный пучок в расходящееся под углом Брюстера кольцо. Линза 5 коллимирует либо фокусирует получившийся пучок.

2. Эксперимент

К сожалению, реализация оптической схемы, представленной на рис. 2, технически затруднена. Связано это с тем, что при использовании в стопе Столетова обычного кварцевого стекла с показателем преломления 1,46 угол Брюстера составляет 55°, т.е. для коллимации такого расходящегося пучка потребуется линза с числовой апертурой 0,8, что практически трудно осуществить. Поэтому в первоначальном самом простом эксперименте была использована оптическая схема, представленная на рис. 3. В этой схеме расходящийся кольцевой пучок проецируется на матовый экран, распределение интенсивности с которого снимает камера.

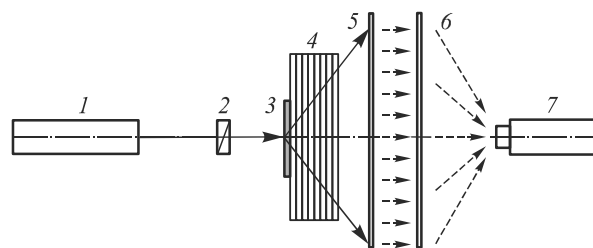


Рис. 3. Простейшая оптическая схема для регистрации радиально-поляризованного света: 1 – лазер, 2 – полуволновая пластинка, 3 – дифракционный аксикон, 4 – стопа Столетова, 5 – поляризатор, 6 – матовый экран, 7 – ПЗС-камера

Для этого эксперимента для длины волны 532 нм период аксикона 3 должен быть 645 нм. Такой аксикон был изготовлен методом электронной литографии на области размером 500×500 мкм (рис. 4).

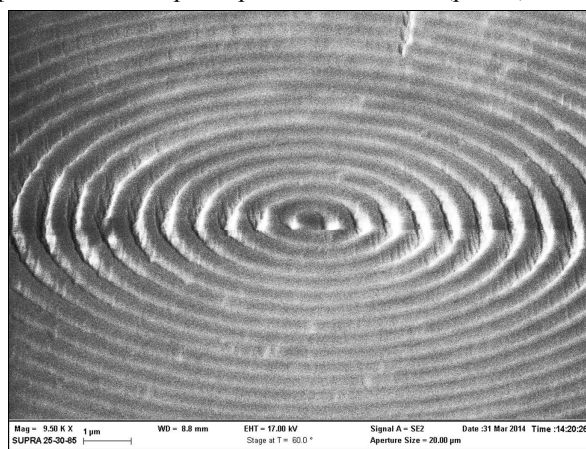


Рис. 4. Центральная часть дифракционного аксикона с периодом 645 нм. Изображение получено на электронном микроскопе Supra при увеличении 9500×

Т.к. получившийся аксикон имеет диаметр всего 500 мкм, что меньше диаметра падающего на него пучка (1200 мкм), то часть света проходит мимо аксикона и формирует в дальнейшем яркое центральное пятно.

Путём поворота поляризатора 6 можно показать, что получившийся пучок действительно является радиально-поляризованным.

Получившееся распределение было снято на камеру при разных положениях поляризатора.

На рис. 5 приведены распределения интенсивности при различных углах поворота поляризатора, зафиксированные камерой 7.

Как видно из рис. 5, получившийся кольцевой световой пучок действительно имеет радиальную поляризацию, т.к. гаснут соответствующие участки кольцевого распределения интенсивности. Центральное пятно при этом интенсивность, как и следовало ожидать, не меняет, т.к. после прохождения полуволновой пластинки пучок имеет круговую поляризацию. Центральное пятно технически несложно убрать: т.к. диаметр получившегося кольца около 55 мм, можно поставить небольшой экран. Отличная от нуля интенсивность в световом кольце в направлении поперёк направления поляризации объясняется относительно небольшим количеством пластин в стопе Столетова.

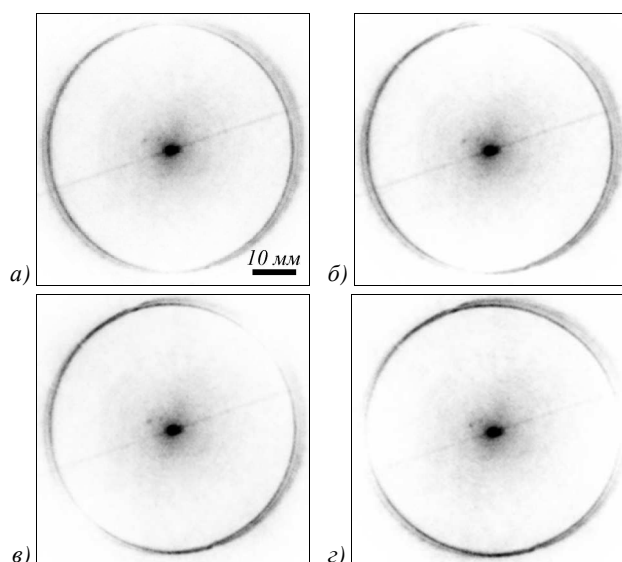


Рис. 5. Распределение интенсивности после поляризатора, повернутого на угол 0° (а), 20° (б), 45° (в), 90° (г)

В проведённом эксперименте хотя и было реализовано распределение интенсивности с радиальной поляризацией, но фактически получившийся пучок обладает слишком большой расходимостью для практического использования. Поэтому в следующем эксперименте была использована другая оптическая схема. В этой схеме на задней поверхности последней пластины в стопе Столетова расположен ещё один дифракционный аксикон, задача которого уменьшить расходимость светового кольца. В идеальном варианте период второго аксикона должен совпадать с периодом первого аксикона, тогда после дифракции на втором аксиконе расходимость светового кольца будет нулевой. К сожалению, технологически это реализовать сложно. Второй аксикон должен быть намного больше по поперечным размерам. Так, при использовании стопы Столетова из 10 пластин толщиной 2 мм каждая, диаметр аксикона должен составлять 55 мм. Вывод такого аксикона возможен методом фотолитографии, но при этом возникает ограничение на минимальный период (не менее 1,2 мкм). Такой аксикон (период 1,2 мкм) также был изготовлен и установлен в схему на рис. 2, что позволило примерно в два раза уменьшить расходимость светового кольца. Таким образом, для окончательной коллимации получившегося пучка достаточно оказалось линзы с числовой апертурой 0,4, которая и была использована в оптической схеме. Перед коллимацией был экранирован центральный порядок.

Световой пучок был сфокусирован с помощью линзы диаметром 95 мм с фокусным расстоянием 80 мм и зарегистрирован чувствительной матрицей видеокамеры. На рис. 6 представлены распределения интенсивности при различных углах поворота поляризатора, зафиксированные камерой 7.

Как видно из рис. 6, действительно удалось сформировать радиально-поляризованный пучок света. Диаметр пучка на рис. 6 составляет всего 5 мм, что

вполне пригодно для его дальнейшего использования. На рис. 6 видны шумовые дополнительные полосы, возникшие из-за высокого коэффициента светорассеяния используемого объектива.

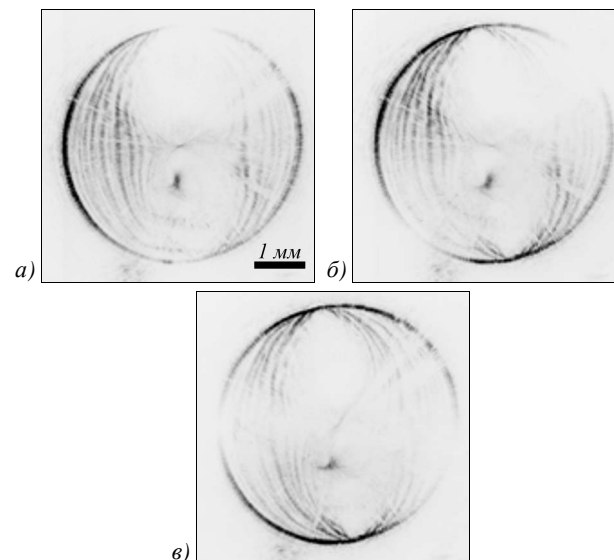


Рис. 6. Распределение интенсивности после поляризатора, повернутого на угол 0° (а), 45° (б), 90° (в)

Представленный метод можно реализовать с помощью одного дифракционного аксикона (рис. 2), т.к. второй аксикон выполняет техническую функцию и без него можно обойтись, для этого необходим объектив с диаметром не менее 60 мм и числовой апертурой 0,8.

Таким образом, предложенный метод работает, хотя и не лишён некоторых недостатков.

Заключение

Предложен новый метод формирования радиально-поляризованного светового пучка, который позволяет с помощью такого простого ДОО, как дифракционный аксикон, получить радиально-поляризованный свет. Для реализации этого метода достаточно одного или двух дифракционных аксиконов и 10–12 плоскопараллельных стеклянных пластинок. Экспериментально показана работоспособность этого метода. Причём в ходе экспериментов удалось сформировать компактный (диаметр 5 мм) радиально-поляризованный пучок света.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: гранты № 13-07-97005р_поволжье_а, 14-07-00177а, 14-07-31291-мол-а-2014, а также Министерства образования и науки (соглашение RFMEFI57514X0083).

Литература

1. **Zhan, Q.** Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications / Q. Zhan // *Advances in Optics and Photonics*. – 2009. – Vol. 1. – P. 1-57. – ISSN 1943-8206.
2. **Oron, R.** The formation of laser beams with pure azimuthal or radial polarization / R. Oron, S. Blit, N. Davidson, A. Friesam // *Applied Physic Letters*. – 2000 – Vol. 77. – P. 3322-3324. – ISSN 1077-3118.

3. **Moshe, I.** Production of radially and azimuthally polarized beams in solid-state lasers and elimination of thermally induced birefringence effects / I. Moshe, S. Jackel, A. Meir // *Optics Letters*. – 2003. – Vol. 28. – P. 807-809. – ISSN 0146-9592.
4. **Mozer, T.** Generation of radially polarized beams in Nd:YAG lasers with polarization selective mirrors / T. Mozer, M. Ahmed, F. Pigeon, O. Parriaux, E. Wyss, Th. Graf // *Laser Physic Letters*. – 2004. – Vol. 1. – P. 234-236. – ISSN 1612-2011.
5. **Roth, M.** Generation of radially polarized beams in a Nd:YAG laser with self-adaptive overcompensation of the thermal lens / M. Roth, E. Wyss, H. Glur, H.P. Weber // *Optics Letters*. – 2005. – Vol. 30. – P. 1665-1667. – ISSN 0146-9592.
6. **Kozawa, Y.** Generation of a radially polarized laser beam by use of a conical Brewster prism / Y. Kozawa, S. Sato // *Optics Letters*. – 2005. – Vol. 30. – P. 3063-3065. – ISSN 0146-9592.
7. **Niziev, V.G.** Influence of the beam polarization on laser cutting efficiency / V.G. Niziev, A.V. Nesterov // *Journal Physic D: Applied Physic*. – 1999. – Vol. 32. – P. 1455-1461. – ISSN 0022-3727.
8. **Dorn, R.** Sharper focus for a radially polarized beam / R. Dorn, S. Quabis, G. Leuches // *Physic Review Letters*. – 2003. – Vol. 2, Issue 91. – P. 33901. – ISSN 0022-3727.
9. **Zhan, Q.** Trapping metallic Rayleigh particles with radial polarization / Q. Zhan // *Optics Express*. – 2004. – Vol. 12. – P. 3377. – ISSN 1094-4087.
10. **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. – ISSN 2155-3165.
11. **Passilly, N.** Simple interferometric technique for generation of a radially polarized light beam / N. Passilly, R. de Saint Denis, K. Ant-Ameur, F. Treussart, R. Hierle, J.-F. Roch // *Journal of the Optical Society of America A*. – 2005. – Vol. 22(5). – P. 984-991. – ISSN: 1520-8540.
12. **Tidwell, S.C.** Efficient radially polarized laser beam generation with a double interferometer / S.C. Tidwell, G.H. Kim, W.D. Kimura // *Applied Optics*. – 1993. – Vol. 32. – P. 5222-5229. – ISSN 2155-3165.
13. **Levy, U.** Engineering space-variant inhomogeneous media for polarization control / U. Levy, C.H. Tsai, L. Pang, Y. Fainman // *Optics Letters*. – 2004. – Vol. 29(15). – P. 1718-1720. – ISSN 0146-9592.
14. **Lerman, G.M.** Generation of a radially polarized light beam using space-variant subwavelength gratings at 1064 nm / G.M. Lerman, U. Levy // *Optics Letters*. – 2008. – Vol. 33(23). – P. 2782-2784 201101. – ISSN 0146-9592.
15. **Beresna, M.** Radially polarized optical vortex converter created by femtosecond laser nanostructuring of glass / M. Beresna, M. Gecevičius, P.G. Kazansky, T. Gertus // *Applied Physics Letters*. – 2011. – Vol. 98. – P. 201101. – ISSN 1077-3118.
16. **Налимов, А.Г.** Отражающий четырёхзонный субволновый элемент микрооптики для преобразования линейной поляризации в радиальную / А.Г. Налимов, Л. О' Фаолейн, С.С. Стафеев, М.И. Шанина, В.В. Котляр // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 229-236.
17. **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. – ISSN 0134-2452.
18. **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. – Vol. 49(10). – P. 1734-1738. – ISSN 2155-3165.
19. **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. – ISSN 0134-2452.
20. **Stalder, M.** Linearly polarized light with axial symmetry generated by liquid-crystal polarization converters / M. Stalder, M. Schadt // *Optics Letters*. – 1996. – Vol. 21(23). – P. 1948-1950. – ISSN 0146-9592.
21. **Davis, J.A.** Two-dimensional polarization encoding with a phase-only liquid crystal spatial light modulator / J.A. Davis, D.E. McNamara, D.M. Cottrell, T. Sonehara // *Applied Optics*. – 2000. – Vol. 39(10). – P. 1549-1554. – ISSN 2155-3165.
22. **Скиданов, Р.В.** Формирование массива световых «бутылок», основанное на использовании суперпозиции пучков Бесселя / Р.В. Скиданов, А.П. Порфирьев // *Компьютерная оптика*. – 2012. – Т. 36, № 1. – С. 80-90. – ISSN 0134-2452.

References

1. **Zhan, Q.** Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications / Q. Zhan // *Advances in Optics and Photonics*. – 2009. – Vol. 1. – P. 1-57. – ISSN 1943-8206.
2. **Oron, R.** The formation of laser beams with pure azimuthal or radial polarization / R. Oron, S. Blit, N. Davidson, A. Friesam // *Applied Physic Letters*. – 2000 – Vol. 77. – P. 3322-3324. – ISSN 1077-3118.
3. **Moshe, I.** Production of radially and azimuthally polarized beams in solid-state lasers and elimination of thermally induced birefringence effects / I. Moshe, S. Jackel, A. Meir // *Optics Letters*. – 2003. – Vol. 28. – P. 807-809. – ISSN 0146-9592.
4. **Mozer, T.** Generation of radially polarized beams in Nd:YAG lasers with polarization selective mirrors / T. Mozer, M. Ahmed, F. Pigeon, O. Parriaux, E. Wyss, Th. Graf // *Laser Physic Letters*. – 2004. – Vol. 1. – P. 234-236. – ISSN 1612-2011.
5. **Roth, M.** Generation of radially polarized beams in a Nd:YAG laser with self-adaptive overcompensation of the thermal lens / M. Roth, E. Wyss, H. Glur, H.P. Weber // *Optics Letters*. – 2005. – Vol. 30. – P. 1665-1667. – ISSN 0146-9592.
6. **Kozawa, Y.** Generation of a radially polarized laser beam by use of a conical Brewster prism / Y. Kozawa, S. Sato // *Optics Letters*. – 2005. – Vol. 30. – P. 3063-3065. – ISSN 0146-9592.
7. **Niziev, V.G.** Influence of the beam polarization on laser cutting efficiency / V.G. Niziev, A.V. Nesterov // *Journal Physic D: Applied Physic*. – 1999. – Vol. 32. – P. 1455-1461. – ISSN 0022-3727.
8. **Dorn, R.** Sharper focus for a radially polarized beam / R. Dorn, S. Quabis, G. Leuches // *Physic Review Letters*. – 2003. – Vol. 2(91). – P. 233901. – ISSN 0022-3727.
9. **Zhan, Q.** Trapping metallic Rayleigh particles with radial polarization / Q. Zhan // *Optics Express*. – 2004. – Vol. 12. – P. 3377. – ISSN 1094-4087.
10. **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. – ISSN 2155-3165.
11. **Passilly, N.** Simple interferometric technique for generation of a radially polarized light beam / N. Passilly, R. de Saint Denis, K. Ant-Ameur, F. Treussart, R. Hierle, J.-F. Roch // *Journal of the Optical Society of America A*. – 2005. – Vol. 22(5). – P. 984-991. – ISSN: 1520-8540.
12. **Tidwell, S.C.** Efficient radially polarized laser beam generation with a double interferometer / S.C. Tidwell, G.H. Kim, W.D. Kimura // *Applied Optics*. – 1993. – Vol. 32. – P. 5222-5229. – ISSN 2155-3165.
13. **Levy, U.** Engineering space-variant inhomogeneous media for polarization control / U. Levy, C.H. Tsai, L. Pang, Y. Fainman // *Optics Letters*. – 2004. – V. 29(15). – P. 1718-1720. – ISSN 0146-9592.
14. **Lerman, G.M.** Generation of a radially polarized light beam using space-variant subwavelength gratings at 1064 nm /

- G.M. Lerman, U. Levy // Optics Letters. – 2008. – Vol. 33(23). – P. 2782-2784 201101. – ISSN 0146-9592.
15. **Beresna, M.** Radially polarized optical vortex converter created by femtosecond laser nanostructuring of glass / M. Beresna, M. Gecevičius, P.G. Kazansky, T. Gertus // Applied Physics Letters. – 2011. – Vol. 98. – P. 201101. – ISSN 1077-3118.
16. **Nalimov, A.G.** Reflected four-zones subwavelength microoptics element for polarization conversion from linear to radial / A.G. Nalimov, L. O' Faolain, S.S. Stafeev, M.I. Shaniina, V.V. Kotlyar // Computer Optics. – 2014. – Vol. 38(2). – P. 229-236. – ISSN 0134-2452.
17. **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. – Vol. 33(3). – P. 261-267. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
18. **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. – Vol. 49(10). – P. 1734-1738. – ISSN 2155-3165.
19. **Karpeev, S.V.** Simple technique of generation inhomogeneously polarized laser beams by means of DOEs / S.V. Karpeev, S.N. Khonina // Computer Optics. – 2011. – Vol. 35(1). – P. 54-62. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
20. **Stalder, M.** Linearly polarized light with axial symmetry generated by liquid-crystal polarization converters / M. Stalder, M. Schadt // Optics Letters. – 1996. – Vol. 21(23). – P. 1948-1950. – ISSN 0146-9592.
21. **Davis, J.A.** Two-dimensional polarization encoding with a phase-only liquid crystal spatial light modulator / J.A. Davis, D.E. McNamara, D.M. Cottrell, T. Sonehara // Applied Optics. – 2000. – Vol. 39(10). – P. 1549-1554. – ISSN 2155-3165.
22. **Skidanov, R.V.** Generation of optical bottle array by superposition Bessel beams / R.V. Skidanov, A.P. Porfirev // Computer Optics. – 2012. – Vol. 36(1). – P. 80-90. – (In Russian).

DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS FOR FORMING RADIALLY POLARIZED LIGHT, BASED ON THE USE STACK OF STOLETOV

R.V. Skidanov^{1,2}, A.A. Morozov¹

¹ Image Processing Systems Institute, Russian Academy of Sciences,

² Samara State Aerospace University

Abstract

We introduce a new method to obtain the radially polarized light by use of a diffractive axicon and a Stoletov pile. It is shown that using the method proposed it is possible to form radially polarized light beams. A radially polarized light beam is implemented experimentally.

Key words: radially polarized light, Stoletov pile, axicon.

Сведения об авторах



Скиданов Роман Васильевич, 1973 года рождения. В 1990 году с отличием окончил Самарский государственный университет (СамГУ) по специальности «Физика». Доктор физико-математических наук (2007 год), работает заведующим лаборатории микро- и нанотехнологий Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН), профессором кафедры технической кибернетики СГАУ. Р.В. Скиданов – специалист в области дифракционной оптики, математического моделирования, обработки изображений и нанопотоники. В списке научных работ Р.В. Скиданова 90 статей, 5 монографий.

E-mail: romans@smr.ru.

Roman Vasilevich Skidanov (b. 1973) graduated with honours (1990) from Samara State University (SSU), majoring in Physics. He received his Doctor in Physics & Maths (2007) degrees from Samara State Aerospace University. He is the head of Micro- and Nanotechnologies 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 co-author of 90 scientific papers, 5 monographs. His current research interests include diffractive optics, mathematical modeling, image processing, and nanophotonics.

Сведения об авторе **Морозов Андрей Андреевич** – см. стр. 605 этого номера.

Поступила в редакцию 7 ноября 2014 г.