

# Формирование векторных вихрей с использованием уголковых отражателей с фазосдвигающим покрытием

*В. Ю. Венедиктов<sup>1</sup>, К.Н. Гаврильева<sup>1</sup>, Ю.С.Гудин<sup>1</sup>, В.Д.Ненадович<sup>2</sup>, А.А.Рыжая<sup>1</sup>,  
А.А. Севрюгин<sup>1</sup>, А. Л. Соколов<sup>2</sup>, Е.В. Шалымов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ»,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Научно-производственная корпорация «Прецизионные системы и приборы» (НПЦ ПСИ),  
Москва, Россия

В данной статье описывается экспериментальное исследование способа формирования оптического вихря с использованием лучей, отраженных от комбинации двух уголковых отражателей со специальным интерференционным фазосдвигающим покрытием. Как предсказывалось ранее, при правильном расположении эти уголковые отражатели создают пространственную поляризационную структуру, которую можно назвать оптическим вихрем, поскольку плоскость колебаний вектора  $E$  вращается с изменением азимута в поперечной плоскости. Это позволяет легко создавать такие вихри, хотя и с некоторыми трудностями из-за необходимости точного управления оптическим путем, а сами вихри создаются в дальней зоне.

*Ключевые слова:* Оптический вихрь, Уголковые отражатели, Пространственная поляризационная структура, Поляризация света, Световозвращающий пространственно-поляризационный интерферометр.

*Цитирование:* **Венедиктов, В. Ю.** Формирование векторных вихрей с использованием уголковых отражателей с фазосдвигающим покрытием / В. Ю. Венедиктов, К. Н. Гаврильева, Ю. С. Гудин, В. Д. Ненадович, А. А. Рыжая, А. А. Севрюгин, А. Л. Соколов, Е. В. Шалымов // НОЛОЕХРО 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 52–55.

## Введение

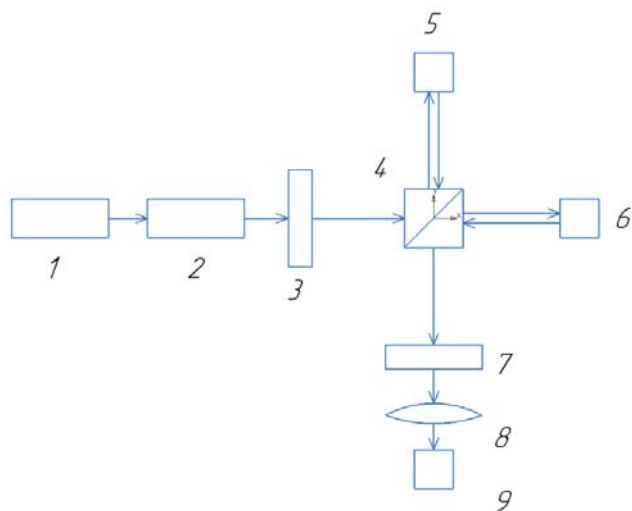
Оптические вихри имеют множество различных потенциальных применений - связь, оптические испытания, оптическое управление мелкими частицами и т.д. Существует несколько методов создания оптических вихрей, такие как компьютерные голограммы, спиральные фазовые пластины, преобразование мод и так далее. Однако приветствуются новые методы создания оптических вихрей, расширяющие область их применения.

Ранее была проделана большая работа по созданию уголковых отражателей с определенным дифракционным распределением в дальней зоне, причем одним из эффективных способов его оптимизации было использование специального фазосдвигающего интерференционного покрытия для создания необходимого фазового сдвига света, отражающегося от граней отражателя. [1-6] Такие отражатели образуют дифракционную картину с шестью лепестками, в которой каждое пятно имеет плоскости колебаний вектора  $E$ , повернутые друг относительно друга на определенный угол. В [7] показано, что комбинация двух УО со специальным покрытием с углом между ними 90 градусов создает поляризационно-симметричную структуру отраженного излучения, а в случае падающего света с круговой поляризацией - оптический вихрь второго порядка [8].

Наконец, в [9] была рассмотрена интерференция лучей и сделан вывод, что суперпозиция двух развернутых отражателей позволяет получить устройство, подобное вращателю спиральной поляризации положительного второго порядка, которое при отражении образует левый оптический вихрь в случае света с правой круговой поляризацией или меняет свой порядок (заряд). Однако большинство этих исследований были теоретическими, поэтому мы решили начать с простого эксперимента, чтобы создать распределение интенсивности в форме пончика с использованием отражателей углами из линейно поляризованного света, в результате чего плоскость поляризации вращалась бы вокруг центра.

### Экспериментальная установка и результаты

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1, где в качестве источника используется гелий-неоновый лазер 1. С помощью настраиваемого коллиматора 2 можно получить либо параллельный, либо слегка расходящийся пучок света. Коллимированный пучок проходит через поляризатор 3, после чего разделяется неполяризующим светоделителем 4 на две волны с одинаковой интенсивностью и поляризацией. После этого лучи отражаются призмами 5 и 6 и снова объединяются светоделительным кубом, создавая необходимое распределение поляризации. Затем луч несколько раз отражался от простых зеркал, установленных на определенных расстояниях (на схеме не показаны) для увеличения оптического пути. После этого результат записывали с помощью цифровой камеры или наблюдали невооруженным глазом на экране 9. Путем поворота поляризатора 8 было проанализировано распределение поляризации на окончательном снимке.

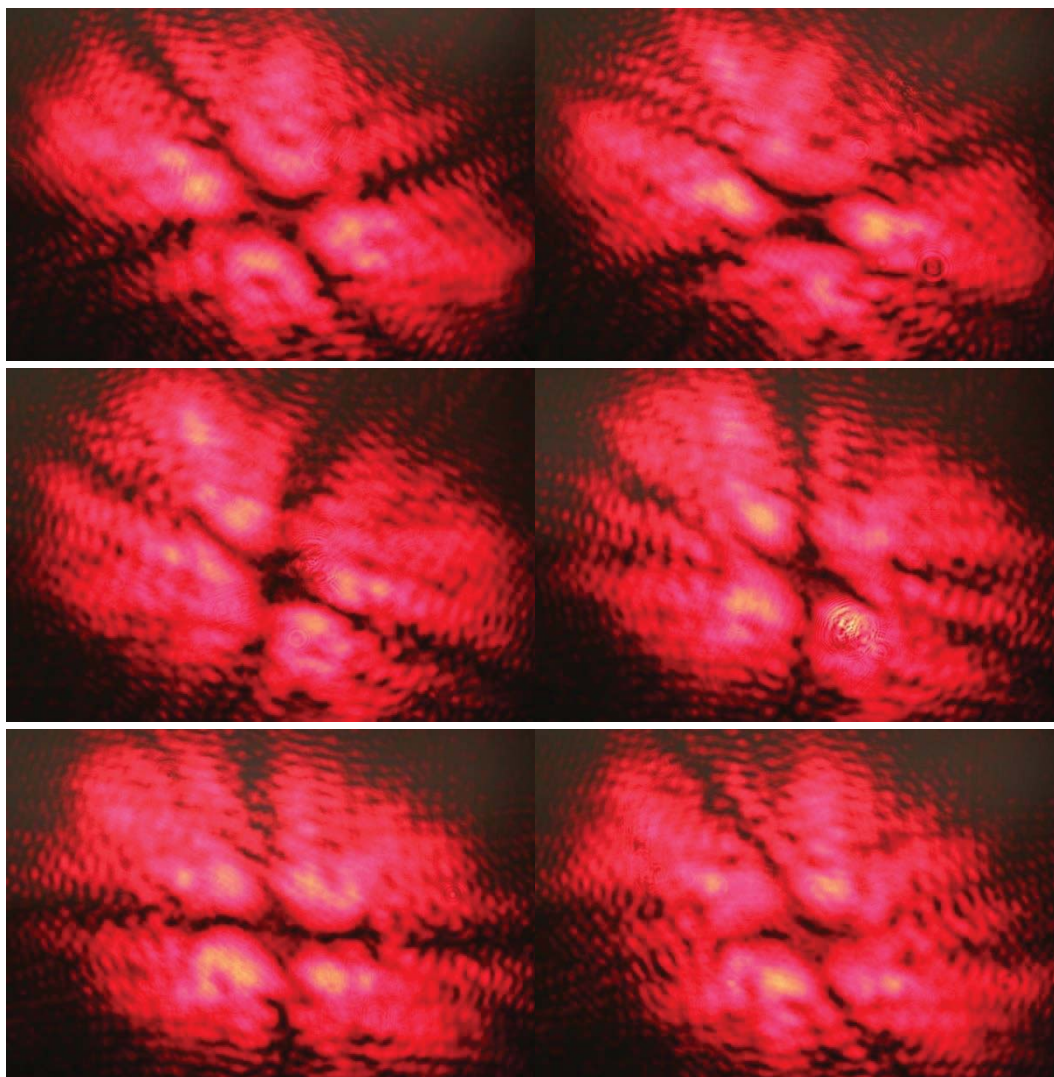


1 — He-Ne лазер; 2 — коллиматор; 3,7 — линейные поляризаторы; 4 — светоделительный куб;  
5, 6 — уголковые отражатели; 8 — линза; 9 — камера / экран

**Рис. 1.** Экспериментальная установка

На рисунке 2 показаны изображения, полученные под разными углами поляризатора 8. Из-за недостаточного расстояния между экспериментальной установкой и камерой эти изображения не выглядят так, как должны (с распределением интенсивности в форме

пончика), поскольку эффекты дифракции в дальней зоне недостаточно сильно повлияли на распределение интенсивности. Однако отчетливо видно, что распределение интенсивности изменяется при повороте поляризатора в соответствии с ожиданиями.



**Рис. 2.** Результаты, полученные при вращении поляризатора  $\delta$ .

### **Заключение**

В данной работе представлено экспериментальное исследование формирования поляризационно-симметричной структуры отраженного излучения с использованием лучей, отраженных от системы двух уголковых отражателей со специальным интерференционным фазосдвигающим покрытием. Основываясь на предыдущих теоретических исследованиях, создан простой световозвращающий интерферометр с пространственной поляризацией для получения кольцевидного распределения интенсивности из линейно поляризованного света с результирующей плоскостью поляризации, вращающейся вокруг центра. Результаты показывают, что поляризация полученного изображения соответствует теоретическим исследованиям. В ближайшем будущем планируется продолжить этот эксперимент с увеличением оптического пути, чтобы получить достаточное влияние дифракции на изображение, и провести эксперимент с круговой поляризацией на входе.

## Благодарность

Исследование финансировалось Правительством Российской Федерации в рамках Программы «Приоритет-2030». К. Н. Гаврильева выражает благодарность РФФИ за финансирование в рамках гранта 20-32-90140 Аспиранты.

## Список источников

- [1] Sadovnikov M. A., Sokolov A. L. Spatial polarization structure of radiation formed by a retroreflector with nonmetallized faces // Optics and spectroscopy. – 2009. – Т. 107. – №. 2. – С. 201-206.
- [2] Crabtree K., Chipman R. Polarization conversion cube-corner retroreflector // Applied optics. – 2010. – Т. 49. – №. 30. – С. 5882-5890.
- [3] Sokolov A. L., Murashkin V. V. Diffraction polarization optical elements with radial symmetry // Optics and spectroscopy. – 2011. – Т. 111. – №. 6. – С. 859-865.
- [4] Sokolov A. L. Formation of polarization-symmetrical beams using cube-corner reflectors // JOSA A. – 2013. – Т. 30. – №. 7. – С. 1350-1357.
- [5] Sokolov A. L. Optical vortices with axisymmetric polarization structure // Optical Engineering. – 2017. – Т. 56. – №. 1. – С. 014109.
- [6] Dennis M. R., O'holleran K., Padgett M. J. Singular optics: optical vortices and polarization singularities // Progress in optics. – Elsevier, 2009. – Т. 53. – С. 293-363.
- [7] Sokolov A. L. Formation of polarization-symmetrical beams using cube-corner reflectors // JOSA A. – 2013. – Т. 30. – №. 7. – С. 1350-1357.
- [8] Sokolov A. L. Optical vortices with axisymmetric polarization structure // Optical Engineering. – 2017. – Т. 56. – №. 1. – С. 014109.
- [9] Sokolov A. L., Murashkin V. V. Retroreflective spatial-polarization interferometer // Applied Optics. – 2020. – Т. 59. – №. 32. – С. 9912-9923.

## Formation of vector vortices using corner reflectors with a phase-shifting coating

*V. Y. Venediktov<sup>1</sup>, K. N. Gavriljeva<sup>1</sup>, Y. S. Gudin<sup>1</sup>, V. D. Nenadovich<sup>2</sup>, A. A. Ryzhaya<sup>1</sup>,  
A. A. Sevryugin<sup>1</sup>, A. L. Sokolov<sup>2</sup>, E. V. Shalymov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> St.-Petersburg state electrotechnical university LETI, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Research-and-production corporation «Precision system and Instruments», Moscow, Russia

This article describes an experimental study of the method of forming an optical vortex using rays reflected from a combination of two corner reflectors with a special interference phase-shifting coating. As predicted earlier, when properly positioned, these corner reflectors create a spatial polarization structure that can be called an optical vortex, since the plane of oscillation of the vector  $E$  rotates with a change in azimuth in the transverse plane. This makes it easy to create such vortices, albeit with some difficulty due to the need for precise control of the optical path, and the vortices themselves are created in the far field.

*Keywords:* Polarization interferometer, Singular optics, Optical vortex.