

16-секторная металинза для острой фокусировки лазерного излучения

С.С. Стафеев^{1,2}, А.Г. Налимов^{1,2}, В.В. Котляр^{1,2}

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

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

Аннотация. В данной работе была исследована 16-секторная металинза основанная на субволновых решетках, предназначенная для одновременного преобразования линейно-поляризованного света в азимутально-поляризованный оптический вихрь и его фокусировки. Экспериментально с помощью сканирующего ближнепольного микроскопа было показано, что металинза формирует фокусное пятно с размерами меньше дифракционного предела: $FWHM_x = 0,32\lambda$ and $FWHM_y = 0,51\lambda$. Экспериментальные значения близки к результатам численного моделирования методом FDTD: $FWHM_x=0,37\lambda$ и $FWHM_y=0,49\lambda$.

1. Введение

Значительное количество научных работ в настоящее время посвящено исследованию метаповерхностей – тонких оптических элементов, позволяющих одновременно управлять амплитудой, фазой и поляризацией проходящего через них излучения [1].

В наших предыдущих работах исследовались элементы, основанные на субволновых решетках и предназначенные для получения цилиндрических векторных пучков – пучков, направление поляризации в которых обладает радиальной симметрией [2].

Данная работа продолжает исследования авторов, начатые в [3, 4]. В настоящей работе рассмотрена 16-секторная металинза основанная на субволновых решетках, одновременно преобразующая падающий на нее линейно-поляризованный свет в азимутально-поляризованный оптический вихрь и фокусирующая его. Экспериментально с помощью сканирующего ближнепольного микроскопа было показано, что металинза формирует фокусное пятно с размерами меньше дифракционного предела: $FWHM_x = 0,32\lambda$ and $FWHM_y = 0,51\lambda$. Экспериментальные значения близки к результатам численного моделирования методом FDTD: $FWHM_x=0,37\lambda$ и $FWHM_y=0,49\lambda$.

2. Изготовление

Исследуемая металинза представляет (рис. 1) собой объединение спиральной зонной пластинки с топологическим зарядом $m = 1$ и секторной субволновой решетки, работающей как полуволновая пластинка. Линза состоит из 16 радиальных секторов, каждый из которых поворачивает поляризацию падающего на нее излучения таким образом, чтобы она стала близка к азимутальной поляризации. Каждый из 16 секторов разбит на подобласти в форме части дуги окружности. Угол линий рельефа в соседних областях подобран таким образом,

чтобы поляризация света, проходящего через них, отличалась на π . Падающий на линзу линейно поляризованный свет преобразуется в сфокусированный азимутально поляризованный оптический вихрь.

Период решетки был равен 220 нм, а глубина рельефа – 120 нм, решетка рассчитывалась для работы со светом с длиной волны 633 нм.

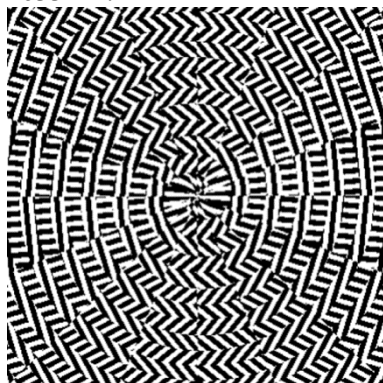


Рисунок 1. Шаблон спиральной металинзы.

Изображение изготовленной металинзы, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) показано на рис. 2.

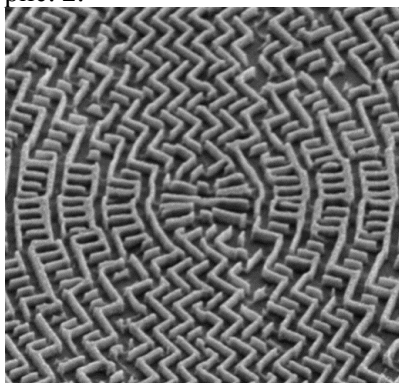


Рисунок 2. СЭМ изображение, изготовленной спиральной металинзы.

3. Эксперимент

Экспериментальное исследование осуществлялось средствами сканирующей ближнепольной микроскопии. В эксперименте свет от лазера (длина волны 633 нм) освещал металинзу, распределение интенсивности света, прошедшего через металинзу, измерялось с помощью полого металлизированного кантилевера с отверстием 100-нм при вершине. Рисунок 3 показывает распределение интенсивности в фокусе, зафиксированное экспериментально. Размеры фокусного пятна на рис. 3 равны $FWHM_x = 0,32\lambda$ и $FWHM_y = 0,51\lambda$.

4. Численное моделирование

Моделирование осуществлялось методом FDTD реализованным в программном обеспечении FullWave. Параметры моделирования выбирались следующими: длина волны $\lambda=633$ нм, ширина расчетной области $8 \times 8 \times 2$ мкм, шаг сетки $\lambda/30$. Показатель преломления металинзы $n=4.352+0.486i$ (аморфный кремний). Моделировалось распространение света через фактически изготовленный рельеф металинзы, показанный на рис. 2. Фокус в моделировании был зафиксирован на расстоянии 633 нм. Рисунок 4 показывает распределение интенсивности в фокусе.

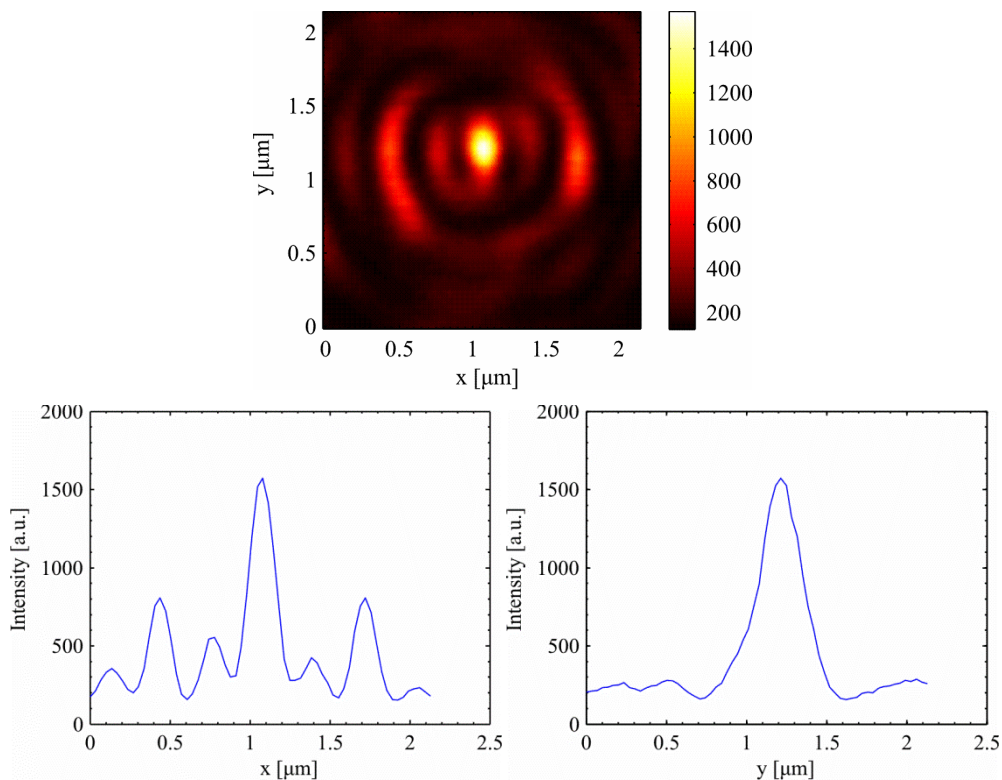


Рисунок 3. Экспериментально зафиксированные фокусные пятна.

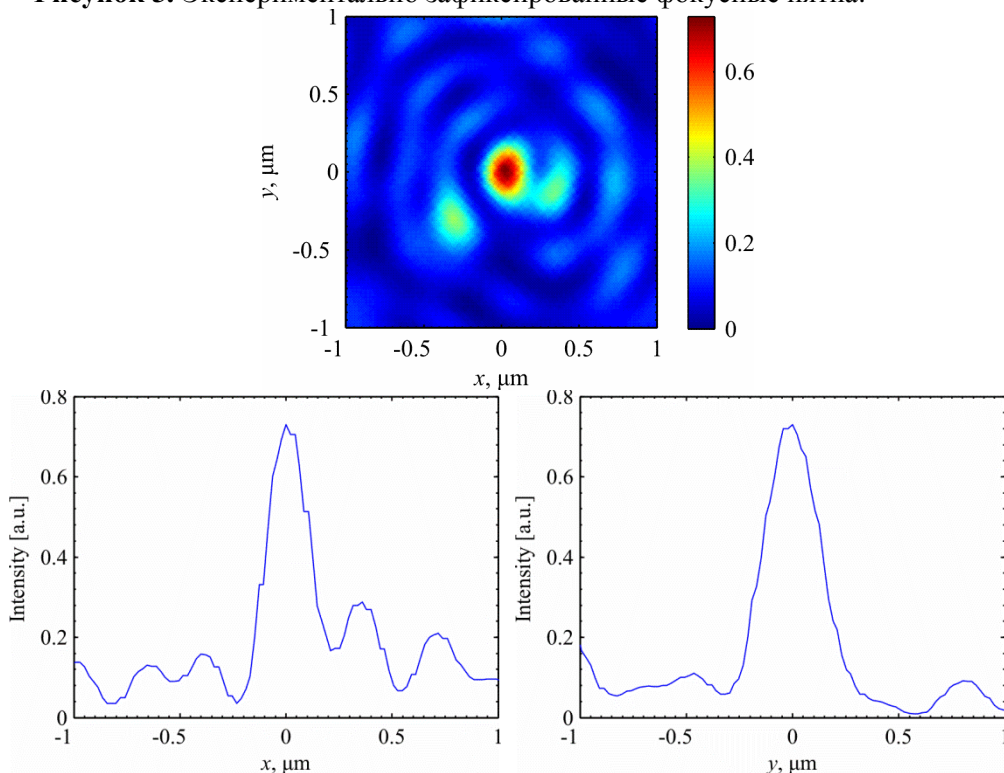


Рисунок 4. Рассчитанная интенсивность в фокусном пятне.

Моделирование показало, что фактически изготовленная металлинза формирует эллиптическое пятно с размерами по полуспаду интенсивности меньше скалярного дифракционного предела: $FWHM_x=0,37\lambda$ и $FWHM_y=0,49\lambda$.

5. Заключение

В данной работе была исследована 16-секторная металинза основанная на субволновых решетках, предназначенная для одновременного преобразования линейно-поляризованного света в азимутально-поляризованный оптический вихрь и его фокусировки. Экспериментально с помощью сканирующего ближнепольного микроскопа было показано, что металинза формирует фокусное пятно с размерами меньше дифракционного предела: $\text{FWHM}_x = 0,32\lambda$ and $\text{FWHM}_y = 0,51\lambda$. Экспериментальные значения близки к результатам численного моделирования методом FDTD: $\text{FWHM}_x=0,37\lambda$ и $\text{FWHM}_y=0,49\lambda$.

6. Литература

- [1] Yu, N. Flat optics with designer metasurfaces / N. Yu, F. Capasso // Nat. Mater. – 2014. – Vol. 13(2). – P. 139-150.
- [2] Zhan, Q. Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications / Q. Zhan // Adv. Opt. Photon. – 2009. – Vol. 1. – P. 1-57
- [3] Nalimov, A.G. Design of a sector-variant high-numerical-aperture micrometalens / A.G. Nalimov, V.V. Kotlyar // Optik. – 2018. – Vol. 159. – P. 9-13.
- [4] Kotlyar, V.V. A vector optical vortex generated and focused using a metalens / V.V. Kotlyar, A.G. Nalimov // Computer Optics. – 2017. – Vol. 41(5). – P. 645-654. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-5-645-654.

Благодарности

Российский научный фонд (18-19-00595).

16-sector metalens for tight focusing of laser light

S.S. Stafeev^{1,2}, A.G. Nalimov^{1,2}, V.V. Kotlyar^{1,2}

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

²Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. We investigated 16-sector metalens that converts linearly polarized laser light to azimuthally polarized optical vortex and focuses the beam. It was shown that the metalens produces a focal spot with subwavelength diameters: $\text{FWHM}_x = 0,32\lambda$ and $\text{FWHM}_y = 0,51\lambda$ (experiment) and $\text{FWHM}_x=0,37\lambda$ и $\text{FWHM}_y=0,49\lambda$ (FDTD-simulation).