

Использование метаповерхности для детектирования дробных топологических зарядов при разных длинах волн

А.Г. Налимов^{1,2}, Ю.В. Ханенко^{1,2}, С.Д. Полетаев^{1,2}

¹ Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»,
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 151;

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34

Аннотация

В данной работе показана возможность детектирования дробных топологических зарядов с помощью метаповерхности в ближней и в дальней зонах. Рассмотрена возможность детектирования топологических зарядов при различных длинах волн. Оценка длины волны света и топологических зарядов возможна за счет смещения светового пятна вдоль различных осей: при изменении длины волны света световое пятно в плоскости наблюдения смещается вдоль оси X, при изменении дробной части топологических зарядов – вдоль оси Y. При этом метаповерхность остается работоспособна в диапазоне длин волн от 0,56 до 0,7 мкм.

Ключевые слова: оптический вихрь, дробный топологический заряд, металинза.

Цитирование: Налимов, А.Г. Использование метаповерхности для детектирования дробных топологических зарядов при разных длинах волн / А.Г. Налимов, Ю.В. Ханенко, С.Д. Полетаев // Компьютерная оптика. – 2025. – Т. 49, № 6. – С. 893-898. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1641.

Citation: Nalimov AG, Khanenko YV, Poletaev SD. Using a metasurface to detect fractional topological charges at different wavelengths. Computer Optics 2025; 49(6): 893-898. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1641.

Введение

Метаповерхности – это ультратонкие планарные дифракционные оптические элементы, способные выполнять различные оптические преобразования светового пучка. Метаповерхности используются в различных областях, таких как создание волновых фронтов с произвольным распределением фазы [1–3], металинзы и фокусаторы [4, 5], голография [6, 7], абсолютное поглощение света [8, 9], в задачах инженерии волновых фронтов [10–13], и других. Одним из перспективных направлений использования метаповерхностей является кодирование и детектирование топологических зарядов. Например, в [14] предложен метод создания металинзы для генерации различных топологических зарядов (ТЗ), причем металинзу можно растягивать, меняя результирующее поле на ее выходе и изменяя таким образом топологический заряд. В [15] предложен метод проектирования металинз, состоящих из двух поверхностей, для манипуляции топологическим зарядом выходного пучка. А в [16] разработаны металинзы для генерации универсальных спиральных пучков (VSB), полученных за счет комбинации самофокусируемых пучков Эйри и фазовой функции металинзы. Известны также работы по детектированию топологических зарядов. Например, в [17] авторы использовали азимутально-квадратичную фазу, полученную с помощью метаповерхности, для детектирования оптических вихрей. В [18] предложена методика создания метаповерхностей, одновременно генерирующая несколько топологических зарядов с по-

мощью метаповерхности в виде наносита. В [19] авторы предложили способ создания металинз для генерации цилиндрических векторных пучков или пучков с заданным топологическим зарядом в зависимости от освещающего её поля. Известны и другие работы в области детектирования оптических вихрей [20]. Во всех перечисленных работах речь идет о целочисленных топологических зарядах. Дробные вихри используются намного реже, и чаще идет речь об их генерации. Например, в [21] авторы использовали дробные топологические заряды $1/3$, $-1/3$ для создания плазмонов со стоячей волной, что позволило им создать микроскоп, основанный на флуоресценции, со 100 нм разрешением.

Работы, в которых разрабатываются металинзы (или другие дифракционные оптические элементы) для детектирования дробного топологического заряда, встречаются намного реже. В [22] авторы разработали способ измерения дробного топологического заряда. Для его измерения использовался фотодетектор с одним пикселем, на который свет попадал после интерферометра Маха–Зендера, в котором использовалось отражение света от вращающейся пластины. Таким образом была использована коррекция дробной части топологического заряда с помощью эффекта Доплера. Авторы измеряли топологический заряд в широком диапазоне, от 4,3 до 10,3, однако для его измерения необходимо использовать механические подвижные части и вращающийся элемент. В [23] была разработана и промоделирована металинза для детектирования дробного ТЗ в диапазоне от 0 до -2 . При этом в ней не были использованы какие-либо подвижные

части, приводимые в движение для ее работы. Однако те расчеты были выполнены для одной длины волны света.

В данной работе рассматривается подобная металинза для работы в некотором диапазоне длин волн. Поскольку металинза состоит из субволновых дифракционных решеток и не используются резонансные явления на наностолбиках, она имеет работоспособность в диапазоне длин волн от 0,56 до 0,7 мкм, где, как показало моделирование, можно детектировать как топологический заряд падающего пучка, так и длину волны света одновременно.

Моделирование в ближней зоне

На рис. 1 приведен расчетный рельеф металинзы для детектирования дробных топологических зарядов с ТЗ $m = -0,5$. Преобразование волнового фронта металинзой представляет собой матрицу

$$\hat{R}(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ -\sin \varphi & -\cos \varphi \end{pmatrix},$$

умноженную на пропускание спиральной пластинки $e^{in\varphi}$ с порядком $n = -1,5$ и функцию пропускания сферической линзы $\exp(-ikr^2 / (2f))$, здесь угол φ – угол поворота вектора электрического поля по часовой стрелке или против неё. Фокусное расстояние линзы равно $f = \lambda = 0,633$ мкм. Она имеет размер 8×8 мкм (364×364 отсчетов) и создана из 16 секторов аналогично металинзе в работе [23]. Глубина рельефа металинзы в аморфном кремнии составляет $h = 0,13$ мкм, её подложка имеет показатель преломления $n = 1,5$. Показатель преломления аморфного кремния был принят $n = 4,352 + 0,486i$, что справедливо для указанной выше центральной длины волны света, чтобы продемонстрировать особенности работы металинзы без добавления других эффектов, в частности, дисперсии материала, в ее работу. Металинза составлена из дифракционных решеток с периодом 0,22 мкм, ширина канавок и ступенек одинаковая и равна 110 нм.

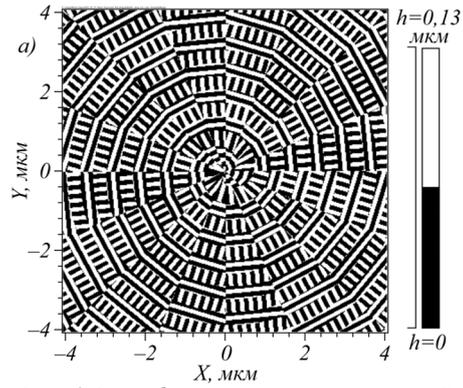


Рис. 1. Рельеф металинзы, рассчитанной на детектирование топологического заряда $m = -0,5$ для длины волны света $\lambda = 0,633$ мкм

Заметим, что в некоторых работах, например, в [24], предлагается аналогичные металинзы создавать с помощью субволновых решеток с непрерывным изгибом линий. Но такой подход не является технологичным, так как в этом случае период решеток может существенно изменяться, что приведет к ошибкам изготовления и, как следствие, к удорожанию производства. Кроме того, из-за изгиба линий период решеток может увеличиться до того, что перестанет быть субволновым, или наоборот, станет слишком малым, что увеличит аспектное соотношение и опять-таки увеличит стоимость изготовления.

При падении на данную металинзу света с левой круговой поляризацией и вихрем с ТЗ $m = -0,5$, в фокусной плоскости формируется круглое световое пятно (что было получено в [23]) (рис. 2а, б):

$$\begin{aligned} & \exp\left(-1,5i\varphi - 0,5i\varphi - i\frac{kr^2}{2f}\right) \times \\ & \times \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ -\sin \varphi & -\cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -i \end{pmatrix} = \\ & = \exp\left(-i\varphi - i\frac{kr^2}{2f}\right) \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}. \end{aligned} \tag{1}$$

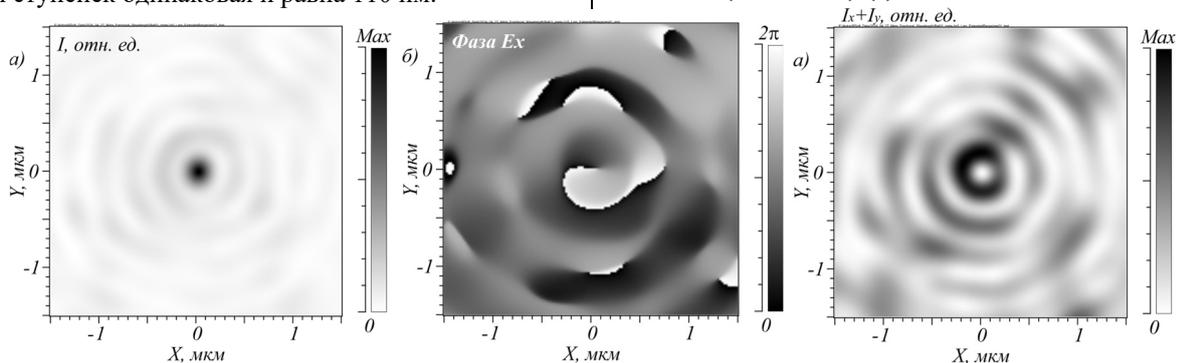


Рис. 2. Интенсивность света в фокусной плоскости металинзы (а) и фаза проекций электрического вектора E_x, E_z (б, в)

В соответствии с формулой (1) в центре должно быть кольцо, так как присутствует вихрь (рис. 1б), однако на рис. 1а изображено круглое фокусное пятно. Причина этого в том, что максимум интен-

сивности находится в E_z -компоненте поля, а поперечные компоненты выражены не так сильно (рис. 3). В то же время вихря в проекции поля E_z нет (рис. 2в).

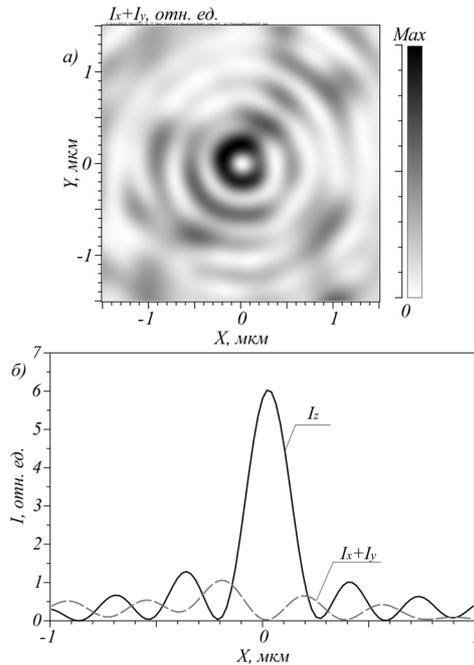


Рис. 3. Интенсивность поперечных компонент (а) и сечение вдоль оси X поперечных и продольной компонент электрического поля в фокусной плоскости

Работоспособность данной металинзы сохраняется в некотором диапазоне длин волн. На рис. 4 показана зависимость интенсивности в фокусном пятне на оптической оси от длины волны падающего света в диапазоне от 0,433 до 0,833 мкм с шагом 10 нм. Данное моделирование было проведено методом FDTD в коммерческом программном пакете FullWave (RSoft – LightTec). Сетка разбиения вдоль всех трех осей была выбрана $\lambda/30$, размер области моделирования составил $8,2 \times 8,2 \times 1,933$ мкм, шаг дискретизации по времени был выбран как максимальный устойчивый и равен $cT = 0,0113$ мкм, где c – скорость света в вакууме.

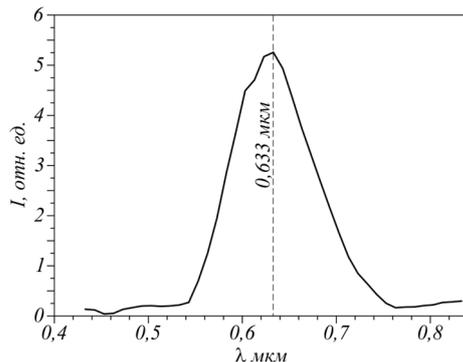


Рис. 4. Зависимость интенсивности в фокусном пятне на оптической оси от длины волны падающего света

Из рис. 4 видно, что данная металинза работает хорошо лишь на небольшом участке длин волн, в диапазоне от 0,56 до 0,7 мкм. В нём интенсивность меняется приблизительно в 3,3 раза. Расчетная длина волны света равна $\lambda = 633$ нм, на эту длину волны света рассчитана спиральная зонная пластинка, которая встроена в металинзу, и высота субволновых дифракцион-

ных решеток для преобразования поляризации падающего поля. На этой длине волны и достигается максимум интенсивности.

Метаповерхность для дальней зоны

Для того, чтобы метаповерхность работала в большем диапазоне длин волн, следует выбрать работу в дальней зоне. На рис. 5 показан рельеф металинзы для дальней зоны. Эта металинза не содержит фокусирующего элемента в своей структуре и рассчитана на работу с ТЗ –1,5:

$$\hat{R}(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos(ax + m\varphi) & -\sin(ax + m\varphi) \\ -\sin(ax + m\varphi) & -\cos(ax + m\varphi) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где коэффициент $\alpha = 3,4$ отвечает за отклонение левой и правой круговых поляризаций, выходящих из металинзы, вдоль оси X [25], а $m = 1,5$ – константа, отвечающая за расчетный топологический заряд падающего поля, она определяет наклон решеток в различных областях при обходе метаповерхности по окружности.

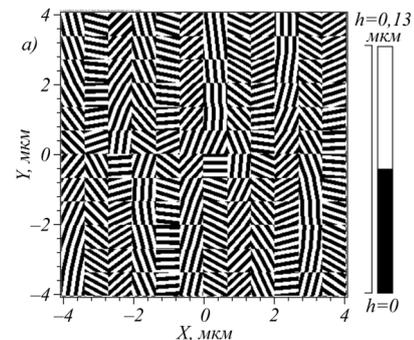


Рис. 5. Металинза для работы в дальней зоне с дробным ТЗ

При прохождении через такую металинзу света с правой круговой поляризацией выходной пучок отклоняется влево [25], при этом интенсивность нулевого порядка почти равна нулю. Для получения распределения интенсивности поля в дальней зоне прохождение света через метаповерхность рассчитывалось с помощью FDTD-метода и результаты его расчета аккумулировались на расстоянии 0,3 мкм за ней, а далее производился расчет компонент вектора электрического поля интегралом Рэлея–Зоммерфельда на расстоянии 100 мкм. Такая комбинация давала возможность уменьшить время расчета без ущерба для его точности. На рис. 6 показана зависимость координаты X центра светового пучка, расположенного в плоскости наблюдения на расстоянии 100 мкм после металинзы.

При длине волны света $\lambda = 0,433$ мкм координата X пучка равна $-24,2$ мкм, при $\lambda = 0,833$ мкм центр пучка расположен в $X = -50,3$ мкм. В рассмотренном же диапазоне от $\lambda = 0,56$ мкм до $\lambda = 0,7$ мкм центр пучка в плоскости наблюдения сдвигается вдоль оси X на 9 мкм, от $X = -31,9$ до $-40,9$ мкм. То есть из рис. 6 можно сделать вывод, что за счет почти линейного смещения координаты центра пучка (выходного угла

луча) от длины волны света можно сделать однозначный вывод о падающей длине волны. Так же моделирование показывает, что нулевой порядок практически отсутствует при расчетной длине волны света. При изменении длины волны как в большую, так и в меньшую сторону на оптической оси появляется кольцо, которое становится постепенно все ярче с отклонением длины волны от расчетного значения.

Интерес представляет не только работоспособность металлинзы при различных длинах волн, но и детектирование дробных топологических зарядов. На рис. 7 показаны зависимости интенсивности в пучке и его координата Y от топологического заряда падающего пучка, который изменяется в диапазоне от -2 до -1 . Расчетное значение, для которого проектировалась метаповерхность, равно $-1,5$.

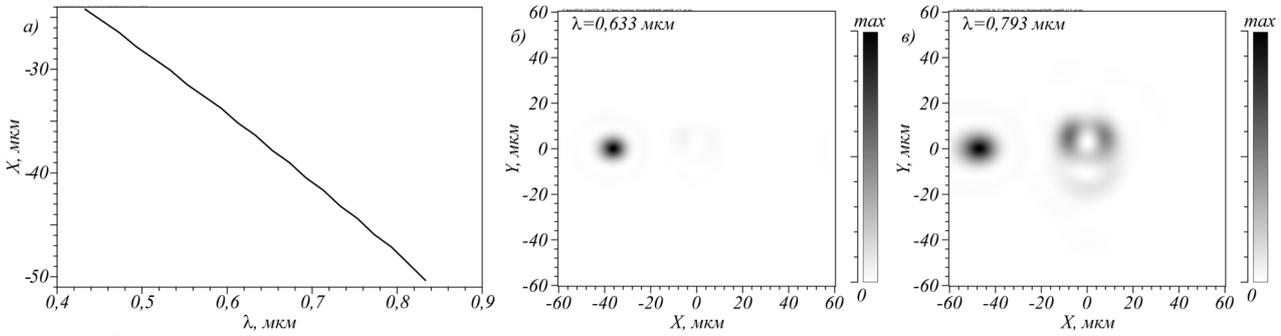


Рис. 6. Зависимость координаты X центра отклоненного пучка в плоскости наблюдения от длины волны падающего излучения на металлинзу (а) и пример интенсивности в плоскости наблюдения при длине волны света $0,633$ мкм (б) и $0,793$ мкм (в). Расстояние до плоскости наблюдения было взято 100 мкм

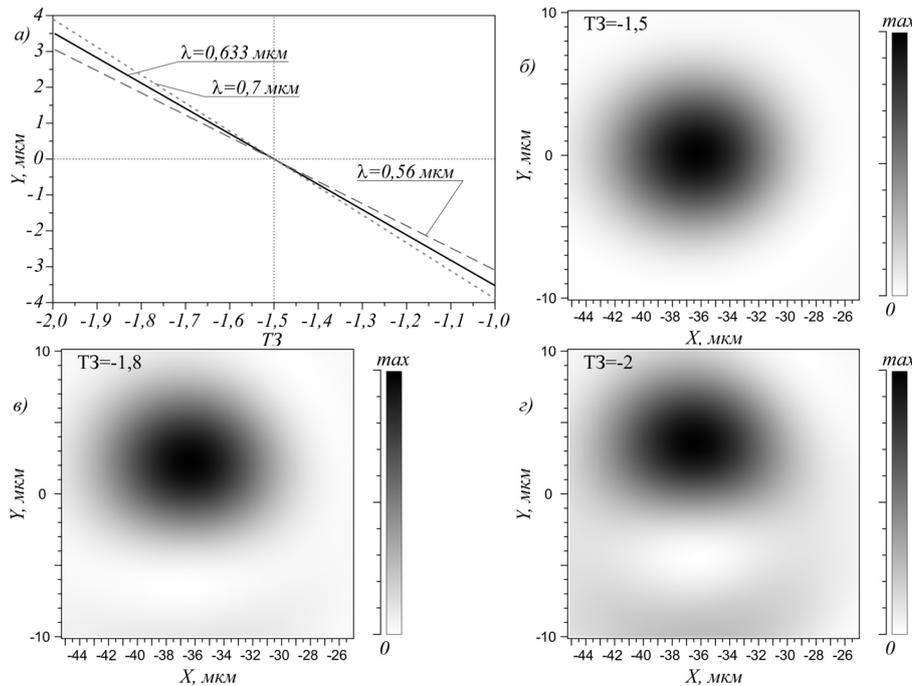


Рис. 7. Зависимость координаты Y максимума интенсивности в плоскости наблюдения от $T3$ падающего пучка (а), и распределение интенсивности в плоскости наблюдения для различных $T3$: $-1,5$ (б), $-1,8$ (в), -2 (г)

Из рис. 7 видно, что изменение $T3$ от -2 до -1 при $\lambda = 0,633$ мкм приводит к изменению координаты Y максимума интенсивности в диапазоне от $Y = 3,5$ мкм до $Y = -3,5$ мкм. При этом моделирование показало, что центр максимума интенсивности вдоль оси X расположен в координате $X = -36,3$ мкм и не зависит от $T3$. Также из рис. 7 видно, что чем больше длина волны, тем больше изменение положения максимума интенсивности пучка в поперечной плоскости, вдоль оси Y . При изменении длины волны с $0,56$ до $0,7$ мкм величина сдвига максимума интенсивности

в плоскости наблюдения на расстоянии 100 мкм от металлинзы составляет $27,8\%$ (с $X = 3,05$ до $X = 3,9$ мкм при $T3 = -2$). При этом зависимость сдвига максимума интенсивности в рассмотренном диапазоне изменения топологического заряда практически линейная. То есть величина дробной части топологического заряда вполне может быть оценена настолько точно, насколько возможно измерить положение максимума интенсивности пучка вдоль оси Y для используемой длины волны. А длину волны λ для этого можно оценить по координате X , так как зависимости от $T3$ у неё нет.

На рис. 8 показана зависимость максимума интенсивности от величины ТЗ для трех разных длин волн.

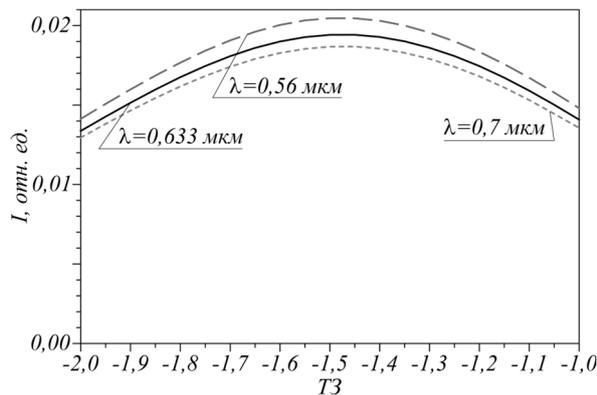


Рис. 8. Зависимость максимума интенсивности в пучке от топологического заряда при различных длинах волн

Как можно понять из рис. 8, максимум интенсивности приходится на расчетный дробный ТЗ = $-1,5$ и слабо зависит от длины волны света: при уменьшении λ до $0,56$ мкм интенсивность возрастает примерно на $5,1 \dots 5,7\%$ (по всему диапазону ТЗ), а при увеличении λ до $0,7$ мкм – уменьшается на $3,1 \dots 3,8\%$. При этом изменение ТЗ от -2 до $-1,5$ приводит к увеличению интенсивности на 30% . То есть изменение длины волны света несущественно уменьшает интенсивность максимума. Из сравнения графиков на рис. 8 и 4 следует, что отсутствие фокусирующей линзы в структуре метаповерхности сильно расширяет диапазон возможных длин волн. Это объясняется тем, что для фокусировки света в металлинзу встраивалась зонная пластинка. Чем дальше её зоны от центра, тем они хуже фокусируют свет, или наоборот, мешают фокусировке: с изменением длины волны света из-за несоответствия ширины зон Френеля длине волны набегает ошибка в формировании фазового фронта, что ухудшает работу металлинзы несмотря на то, что работоспособность субволновых решеток сохраняется. По этой причине при необходимости использовать метаповерхность в некотором диапазоне длин волн целесообразна работа в дальней зоне.

Заключение

В работе продемонстрирована возможность использования метаповерхности для детектирования дробных топологических зарядов. Показана возможность работы металлинзы как в ближней, так и в дальней зоне. Моделирование показало, что при работе в ближней зоне (фокусное расстояние равно $0,633$ мкм) металлинза работает хорошо лишь на небольшом участке длин волн. В диапазоне от $0,56$ до $0,7$ мкм интенсивность меняется приблизительно в $3,3$ раза. В то же время при работе в дальней зоне в том же диапазоне длин волн интенсивность в центре пучка изменяется лишь на 30% . При этом по смещению интенсивности вдоль осей X и Y можно оценивать длину волны света

и дробный топологический заряд. Например, при изменении ТЗ от -2 до -1 фокусное пятно смещается вдоль оси Y приблизительно на 7 мкм, а при изменении длины волны света от $0,56$ до $0,7$ мкм максимум интенсивности смещается на 9 мкм вдоль оси X . Эти данные справедливы для плоскости наблюдения на расстоянии 100 мкм за метаповерхностью. Моделирование также показало, что зависимости положения вдоль оси X максимума интенсивности от ТЗ в рассмотренном дробном диапазоне ТЗ нет, что позволяет оценить как длину волны, так и дробную часть ТЗ по расположению максимума интенсивности в координатах X и Y в плоскости наблюдения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 23-12-00236) в частях «Моделирование в ближней зоне», «Метаповерхность для дальней зоны», а также при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН в частях «Введение», «Заключение».

References

- [1] Pfeiffer C, Grbic A. Millimeter-wave transmitarrays for wavefront and polarization control. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 2013; 61(12): 4407-4417. DOI: 10.1109/TMTT.2013.2287173.
- [2] Yu N, Genevet P, Kats MA, et al. Light propagation with phase discontinuities: Generalized laws of reflection and refraction. *Science* 2011; 334(6054): 333-337. DOI: 10.1126/science.121071.
- [3] Yuan Y, Wu Q, Burokur SN, Zhang K. Chirality-assisted phase metasurface for circular polarization preservation and independent hologram imaging in microwave region. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 2023; 71(8): 3259-3272. DOI: 10.1109/TMTT.2023.3256527.
- [4] Feng J, Chen W, Shou H, et al. Experimental realization of an ultra-thin and continuous scanning metasurface mimicking a Luneburg lens. *J Appl Phys* 2023; 134(12): 124903. DOI: 10.1063/5.0169012.
- [5] Zhang K, Yuan Y, Ding X, et al. High-efficiency metalenses with switchable functionalities in microwave region. *ACS Appl Mater Interfaces* 2019; 11(31): 28423-28430. DOI: 10.1021/acsami.9b07102.
- [6] Feng J, Chen W, Liu R, Mei Z. Multifunctional dielectric metasurface for independent holographic imaging and polarization imaging. *Phys Scr* 2023; 98(5): 055519. DOI: 10.1088/1402-4896/accd2d.
- [7] Li J, Kamin S, Zheng G, et al. Addressable metasurfaces for dynamic holography and optical information encryption. *Sci Adv* 2018; 4(6): eaar6768. DOI: 10.1126/sciadv.aar67.
- [8] Qi B, Shou H, Zhang J, et al. A near-perfect metamaterial selective absorber for high-efficiency solar photothermal conversion. *Int J Therm Sci* 2023; 194: 108580. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2023.108580.
- [9] Shou H, Feng J, Qi B, et al. A wideband absorber working in the L- and S-bands based on magnetic materials. *Appl Phys Lett* 2023; 122(25): 251703. DOI: 10.1063/5.0153826.

- [10] Wu GB, Dai JY, Cheng Q, et al. Sideband-free space-time-coding metasurface antennas. *Nat Electron* 2022; 5(11): 808-819. DOI: 10.1038/s41928-022-00857-0.
- [11] Ni X, Wong ZJ, Mrejen M, et al. An ultrathin invisibility skin cloak for visible light. *Science* 2015; 349(6254): 1310-1314. DOI: 10.1126/science.aac941.
- [12] Chang CC, Zhao Z, Li D, et al. Broadband linear-to-circular polarization conversion enabled by birefringent off-resonance reflective metasurfaces. *Phys Rev Lett* 2019; 123(23): 237401. DOI: 10.1103/PhysRevLett.123.237401.
- [13] Li J, Yuan Y, Wu Q, Zhang K. Bi-isotropic Huygens' metasurface for polarization-insensitive cross-polarization conversion and wavefront manipulation. *IEEE Trans Antennas Propag* 2024; 72(3): 2445-2454. DOI: 10.1109/TAP.2024.3355483.
- [14] Cao G, Lin H, Jia B, Yuan X, Somekh M, Wei S. Design of a dynamic multi-topological charge graphene orbital angular momentum metalens. *Opt Express* 2023; 31(2): 2102-2111. DOI: 10.1364/OE.480946.
- [15] Shang S, Liu H, Meng H, Wang F, Yang X, Shou Q, Wei Z. Generation of dual vortices with controlled topological charges based on spin-decoupled moiré metalens. *Opt Express* 2024; 32(16): 28370-28382. DOI: 10.1364/OE.532293.
- [16] Li F, Yu X, Song J, Ji P, Ma J, Yuan C. Generation of a modulated versatile spiral beam with varying intensity distribution along the propagation. *Opt Express* 2023; 31(24): 40620-40629. DOI: 10.1364/OE.505126.
- [17] Guo Y, Zhang S, Luo X. Spin-decoupled metasurface for simultaneous detection of spin and orbital angular momenta via momentum transformation. *Light Sci Appl* 2021; 10(1): 63. DOI: 10.1038/s41377-021-00497-7.
- [18] Jin Z, Janoschka D, Deng J, et al. Phyllotaxis-inspired nanosieves with multiplexed orbital angular momentum. *eLight* 2021; 1: 5. DOI: 10.1186/s43593-021-00005-9.
- [19] Kotlyar VV, Stafeev SS, Nalimov AG, O'Faolain L, Kotlyar MV. A dual-functionality metalens to shape a circularly polarized optical vortex or a second-order cylindrical vector beam. *Photonics Nanostructures – Fundam Appl* 2021; 43: 100898. DOI: 10.1016/j.photonics.2021.100898.
- [20] Nalimov AG, Kotlyar VV. Multifocal metalens for detecting several topological charges at different wavelengths. *Computer Optics* 2023; 47(2): 201-207. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1170.
- [21] Wei S, Lei T, Du L, Zhang C, Chen H, Yang Y, Zhu SW, Yuan XC. Sub-100nm resolution PSIM by utilizing modified optical vortices with fractional topological charges for precise phase shifting. *Opt Express* 2015; 23(23): 30143-30148. DOI: 10.1364/OE.23.030143.
- [22] Hu Z, Zhu J, Zhang H, Gao J, Wang Z, Li Z, Lu X, Cai Y, Zhao C. Quantitative determination of fractional topological charge based on the rotational Doppler effect. *Opt Express* 2024; 32(17): 29057-29067. DOI: 10.1364/OE.527750.
- [23] Nalimov AG, Kotlyar VV, Khanenko YV, Poletaev SD. A metalens for detecting fractional-order optical vortices. *Computer Optics* 2024; 48(3): 342-348. DOI: 10.18287/2412-6179CO-1435.
- [24] Degtyarev SA, Savelyev DA, Karpeev SV. Diffractive optical elements for generating cylindrical beams of different orders. *Computer Optics* 2019; 43(3): 347-355. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-3-347-355.
- [25] Nalimov AG, Kotlyar VV, Kovalev AA, Poletaev SD, Khanenko YV. Detection of elliptical polarization characteristics using a metalens. *Optik* 2024; 311: 171931. DOI: 10.1016/j.ijleo.2024.171931.

Сведения об авторах

Налимов Антон Геннадьевич, 1980 года рождения, окончил Самарский государственный аэрокосмический университет в феврале 2003 года по специальности «Физика». Окончил очную аспирантуру по специальности 01.04.05 «Оптика» в 2006 году. Работает на кафедре технической кибернетики в Самарском университете в должности доцента, в Институте систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт» в должности научного сотрудника. Кандидат физико-математических наук, соавтор 200 работ и 3 патентов. E-mail: anton@ipsiras.ru

Ханенко Юрий Владимирович, 1999 года рождения, окончил Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва в 2021 году по специальности «Конструирование и технология электронных средств». Работает в Самарском университете в научно-исследовательской лаборатории автоматизированных систем научных исследований в должности старшего лаборанта, в Институте систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт» в должности инженера. E-mail: khanenko.yuv@ssau.ru

Поletaев Сергей Дмитриевич, 1985 года рождения, окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ) по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», работает научным сотрудником в Институте систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт». Область научных интересов: технология создания дифракционных оптических элементов. E-mail: sergpolet@gmail.com

ГРНТИ: 29.31.15

Поступила в редакцию 12 ноября 2024 г. Окончательный вариант – 06 февраля 2025 г.

Using a metasurface to detect fractional topological charges at different wavelengths

A.G. Nalimov^{1,2}, V.V. Kotlyar^{1,2}, Y.V. Khanenko^{1,2}, S.D. Poletaev^{1,2}

¹Image Processing Systems Institute, NRC “Kurchatov Institute”, Molodogvardeyskaya 151, Samara, 443001, Russia;

²Samara National Research University, Moskovskoye Shosse 34, Samara, 443086, Russia

Abstract

This paper demonstrates a possibility of detecting fractional topological charges (TC) using a metasurface in the near and far fields. The feasibility of detecting fractional TC at different wavelengths is studied. The light wavelength and TC can be estimated by shifting the light spot along different axes: when the wavelength of light changes, the light spot in the observation plane shifts along the X axis. When the fractional part of the TC changes, it shifts along the Y axis. The metasurface remains usable in the wavelength range from 0.56 to 0.7 μm .

Keywords: topological charge, fractional optical vortex, multifocal metalens.

Citation: Nalimov AG, Khanenko YV, Poletaev SD. Using a metasurface to detect fractional topological charges at different wavelengths. *Computer Optics* 2025; 49(6): 893-898. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1641.

Acknowledgements: The work was partly funded by the Russian Science Foundation under grant #23-12-00236 (Section “Simulation”) and the RF Ministry of Science and Higher Education within a state contract of the Research Center “Crystallography and Photonics” of the RAS (Sections “Introduction” and “Conclusion”).

Authors’ information

Anton Gennadyevich Nalimov (b. 1980), graduated from Samara State Aerospace University in February, 2003. Finished postgraduate study in 2006 with speciality 01.04.05 “Optics”. A.G. Nalimov works on Technical Cybernetics department in Samara National Research University as an associate professor, works as a scientist in the Image Processing Systems Institute, NRC “Kurchatov Institute”, Samara, Russia. Candidate in Physics and Mathematics, coauthor of 200 papers and 3 inventions. E-mail: anton@ipsiras.ru

Yuriy Vladimirovich Khanenko (b. 1999), graduated from Samara National Research University (short – Samara University) in 2021, majoring in Design and Technology of Radioelectronic Equipment. Currently works in Samara National Research University as a laboratory assistant, works as an engineer in the Image Processing Systems Institute, NRC “Kurchatov Institute”, Samara, Russia. E-mail: khanenko.yuv@ssau.ru

Sergey Dmitriyevich Poletayev, (b.1985) graduated from S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University) (SSAU) in the specialty «Design and Technology of Radioelectronic Facilities». He is a researcher at Samara National Research University, a researcher at the Image Processing Systems Institute, NRC “Kurchatov Institute”. Area of research interests: development of technology of diffractive optical elements E-mail: sergpolet@gmail.com

Received November 12, 2024. The final version – February 06, 2025.
