

Детектирование характеристик эллиптической поляризации с помощью металинзы

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

¹ Институт систем обработки изображений – Самара, 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 работе предложена и промоделирована металинза, способная детектировать эллиптичность поляризации падающего пучка. Данная металинза состоит из блоков дифракционных решеток высотой 140 нм при периоде 220 нм. Металинза представляет собой поляризатор, зависящий от одной поперечной координаты, и фокусатор. Металинза способна как разделять линейно-поляризованное излучение в два фокусных пятна с круговыми поляризациями разного знака, так и детектировать направление и степень эллиптичности поляризации. Металинза работает в широком диапазоне длин волн от 0,55 до 0,837 мкм, причем в диапазоне от 0,64 до 0,837 мкм ее можно использовать для оценки длины волны падающего излучения за счет почти линейного смещения фокусного пятна в поперечной плоскости в зависимости от длины волны света.

Ключевые слова: метаповерхность, спиновый угловой момент, спиновый эффект Холла, детектирование эллиптической поляризации.

Цитирование: Налимов, А.Г. Детектирование характеристик эллиптической поляризации с помощью металинзы / А.Г. Налимов, В.В. Котляр, А.А. Ковалёв, С.Д. Полетаев, Ю.В. Ханенко // Компьютерная оптика. – 2025. – Т. 49, № 2. – С. 180-186. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1515.

Citation: Nalimov AG, Kotlyar VV, Kovalev AA, Poletaev SD, Khanenko YV. Detection of elliptical polarization parameters using a metalens. Computer Optics 2025; 49(2): 180-186. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1515.

Введение

Метаповерхности, представляющие собой массивы субволновых структур, являются гибкими инструментами для манипулирования различными параметрами световых пучков. Для создания метаповерхностей используются как плазмонные структуры [1, 2], так и диэлектрические материалы [3–5]. Помимо возможности металинз работать как отдельные линзы, они способны воспроизводить свойства комбинаций линз и оптических компонент, заменяя собой некоторые оптические схемы целиком [6–9]. Одним из применений метаповерхностей является преобразование поляризации света, причем метаповерхности способны справляться сразу с несколькими задачами: как преобразовывать структуру поляризации пучка, так и фокусировать его в заданную область [10, 11]. Одним из перспективных направлений разработки метаповерхностей является получение спинового эффекта Холла. В настоящее время исследованы такие вариации спинового эффекта Холла, как спин-зависимый [12] или дифракционно-зависимый эффект Холла [13], плазмонный спиновый эффект Холла [14, 15], эффект Холла в метаматериалах [16].

Разделение левой и правой эллиптических поляризаций с помощью метаповерхности было впервые рассмотрено в [17]. Авторы в [17] рассмотрели использование метаповерхности для ближнего ИК-

диапазона. В [18, 19] использовались металинзы для разделения пучков с левой и правой круговыми поляризациями. При этом чаще всего для построения металинз используются столбики с высоким аспектным соотношением [18]. Чаще всего в работах рассматривается разделение круговых поляризаций [20–22]. Однако представляет интерес и процесс детектирования поляризации падающего пучка, и измерение его характеристик.

В данной работе рассмотрена металинза, способная детектировать эллиптичность поляризации падающего пучка. Данная металинза состоит из низкопрофильных дифракционных решеток высотой всего 140 нм при периоде 220 нм и работает в видимом диапазоне света на длине волны $\lambda = 0,633$ мкм. Преимуществом данной металинзы является простота изготовления, поскольку решетки изготовить намного проще, чем столбики, рассчитанные работать в резонансе на определенной длине волны. Одним из полезных характеристик данной металинзы является ее малая избирательность к длине волны света, что также дополняется возможностью оценки длины волны света в широком диапазоне: от 0,64 до 0,837 мкм.

Разделение эллиптических поляризаций

На рис. 1 представлена рассматриваемая в работе металинза и ее конструкция.

Метаповерхность (рис. 1б) представляет собой дифракционные решетки, угол β которых меняется по закону: $\beta = \sin(0,5\alpha x)$. Такая метаповерхность представляет собой матрицу

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

преобразования вектора поляризации падающего поля, где α определяет период структуры вдоль оси X и в данном случае равно $\alpha = \pi/2$ мкм⁻¹. При плоской падающей волне с линейной поляризацией вдоль оси X на выходе будет пучок с направлением поляризации, зависящим от координаты x :

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha x & -\sin \alpha x \\ \sin \alpha x & \cos \alpha x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha x \\ \sin \alpha x \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для фокусировки такого пучка к метаповерхности добавлена зонная пластинка с фокусным расстоянием $f = 2\lambda = 1,266$ мкм (рис. 1в), расчёты проводились для длины волны света $\lambda = 633$ нм. Поскольку такая металинза не имеет радиальной симметрии, вся её

поверхность поделена на квадратные области, всего использовалось 14×14 областей. В областях, находящихся в разных зонах зонной пластинки, направление линий решеток повернуто на $\pi/2$. Размер металинзы составляет 8×8 мкм. Ширина ступеньки субволновых дифракционных решеток (рис. 1б) составляет 110 нм, ширина канавки – 110 нм, их глубина – 140 нм, показатель преломления материала металинзы $n = 4,352 + 0,486i$ (аморфный кремний). Известно, что метаповерхность на рис. 1б при освещении ее светом с линейной поляризацией формирует правую и левую круговые поляризации [23]. Добавление к такой метаповерхности фокусирующего элемента приводит к тому, что правая и левая круговые поляризации разделяются гораздо раньше, чем в прошлой работе [23], уже в фокусной плоскости, и фокусируются в два отдельных фокусных пятна. На рис. 2 показана интенсивность света в фокусной плоскости при освещении металинзы на рис. 1а светом с линейной поляризацией вдоль оси X , ограниченной апертурой 4 мкм. Моделирование проводилось методом FDTD, реализованным в коммерческом пакете FullWave (Rsoft – LightTec).

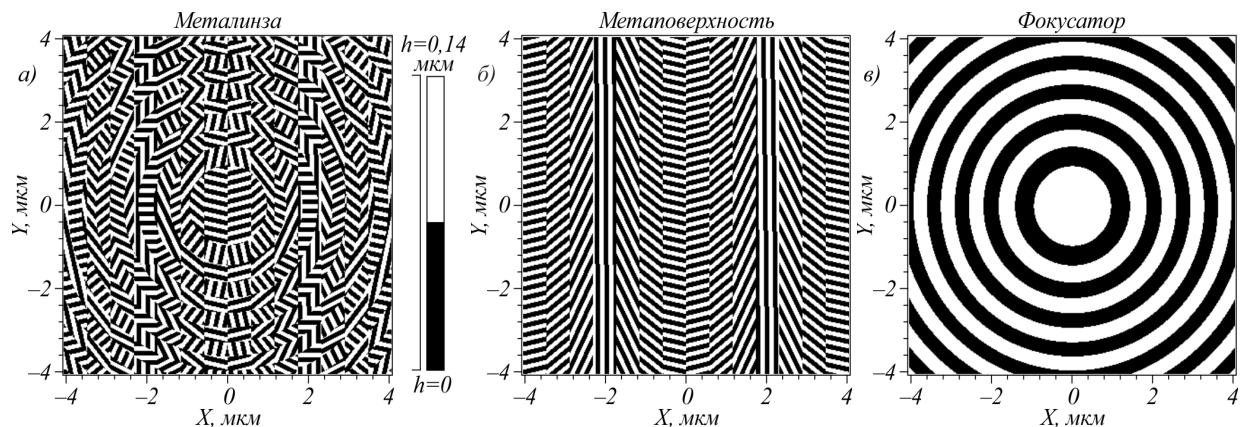


Рис. 1. Рельеф рассматриваемой металинзы (а), метаповерхности, состоящая из дифракционных решеток, (б) и зонная пластинка (в), используемая в металинзе для фокусировки света

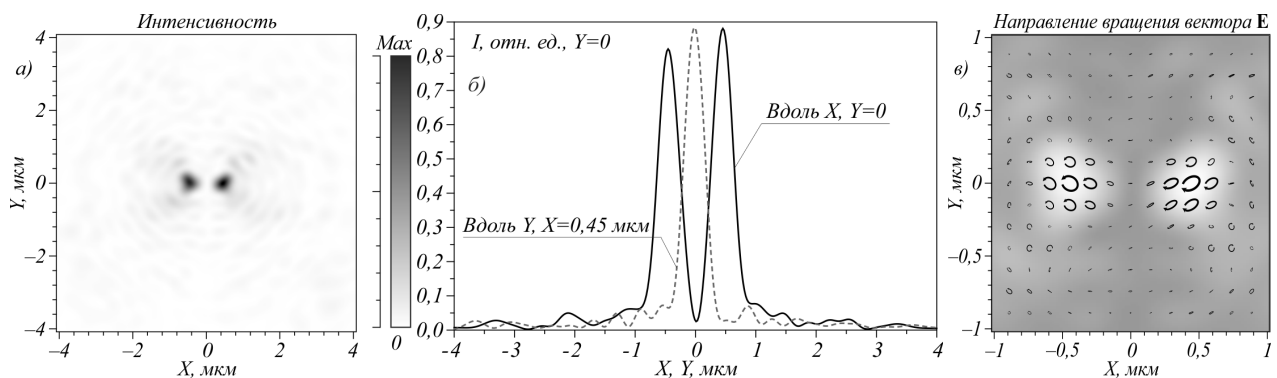


Рис. 2. Интенсивность, негатив (а), её сечение вдоль оси x и y (б) и поляризация прошедшего металинзу пучка в фокусной плоскости. Стрелками с эллипсами (в) обозначено вращение вектора электрического поля в плоскости XY с течением времени. Падающая волна плоская, $E_x (E_y = 0)$

Из рис. 2б видно, что максимумы интенсивности немного различаются между собой (примерно на 7 %), что вызвано асимметрией структуры металинзы и погрешностями в преобразовании поляризации па-

дающего пучка света в связи с малыми размерами областей, дополнительно поделенных кольцами зонной пластинки. Расстояние между максимумами интенсивности составляет 0,8 мкм, ширина по полуспаду

интенсивности правого максимума вдоль оси X равна $\text{FWHM}_x = 0,651\lambda$, левого $\text{FWHM}_x = 0,67\lambda$; ширина по полуспаду интенсивности правого максимума вдоль оси Y $\text{FWHM}_y = 0,645\lambda$, левого $\text{FWHM}_y = 0,718\lambda$. Моделирование распространения пучка, который формирует металинза, с помощью интеграла Рэлея–Зоммерфельда дает очень близкий результат. На рис. 3 приведено моделирование фокусировки волны с аналогичным разделением двух круговых поляризаций, но здесь начальное поле содержало в себе функ-

цию параболической фокусирующей линзы ($k = 2\pi/\lambda$):

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha x \\ \sin \alpha x \end{pmatrix} \exp\left(-\frac{ikr^2}{2f}\right). \quad (2)$$

Ширина по полуспаду интенсивности обоих максимумов вдоль оси X составляет $\text{FWHM}_x = 0,716\lambda$, вдоль оси Y : $\text{FWHM}_x = 0,619\lambda$, расстояние между максимумами фокусных пятен равно $0,86$ мкм, что на 60 нм больше, чем в случае использования металинзы.

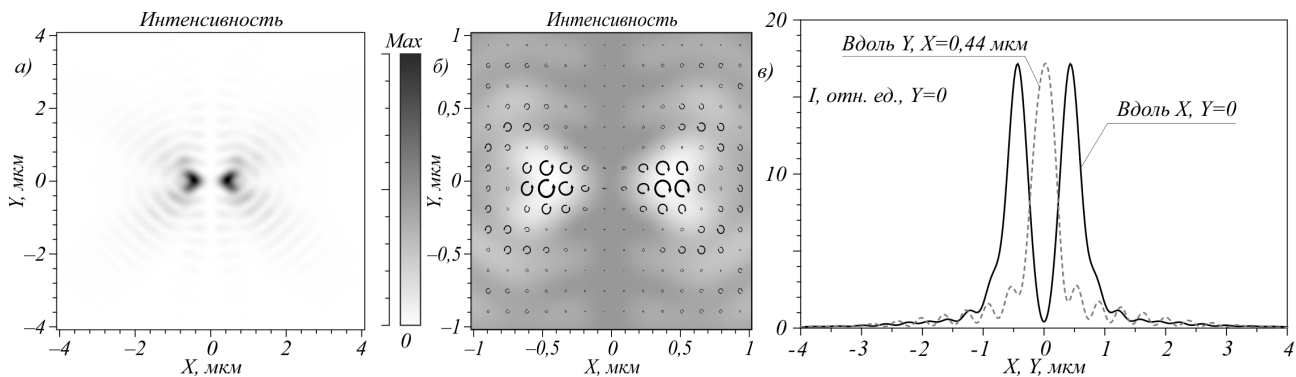


Рис. 3. Интенсивность, негатив (а), поляризация (б) и сечение вдоль осей X , Y (в) пучка (1) в фокусной плоскости

Если данную металинзу осветить светом с круговой поляризацией, то он будет сфокусирован в один максимум интенсивности, совпадающий или с левым, или с правым фокусным пятном на рис. 2 в зависимости от направления вращения вектора электрического поля. При падающем поле с правой круговой поляризацией фокусное пятно будет в координатах $x = -0,4$ мкм, $y = 0$, при левой круговой – в координатах $x = 0,4$ мкм, $y = 0$. То есть можно демультиплексировать пучок с правой и левой круговой поляризациями в два разных максимума интенсивности. На рис. 4 показаны результаты моделирования фокусировки света с левой и правой круговой поляризацией с помощью металинзы, рассчитанные методом FDTD.

Видно, что правая и левая круговые поляризации полностью разделяются в фокусной плоскости, причем отношение сигнал/шум (отношение максимума интенсивности к интенсивности бокового лепестка от соседнего максимума интенсивности, расположенного в том же месте, рис. 4в) составляет $29,4 - 62,5$.

С помощью такой металинзы можно измерять эллиптичность поляризации, если большая ось эллипса совпадает с осью X . На рис. 5а, б показаны зависимости интенсивностей в правом и левом максимуме интенсивности в зависимости от амплитуды проекции E_y (при постоянной проекции E_x), E_x (при постоянной проекции E_y) и направления вращения вектора $\mathbf{E}$.

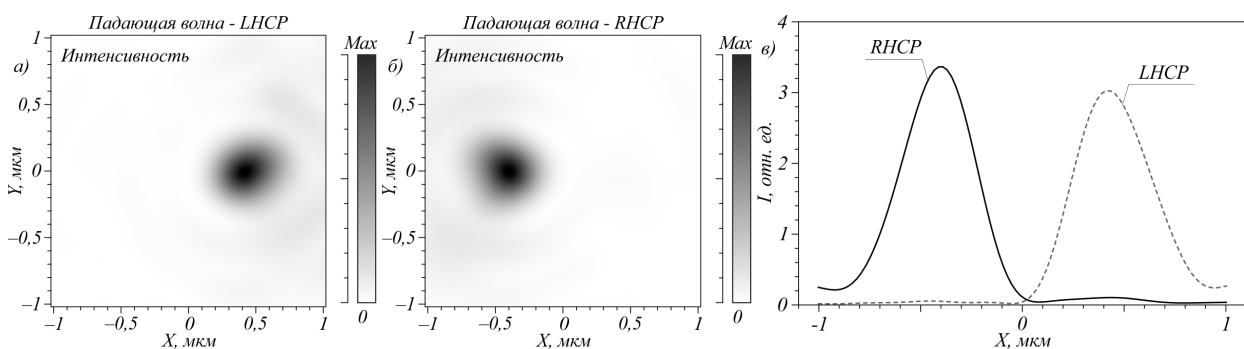


Рис. 4. Результат фокусировки поля металинзой с левой (а) и правой (б) круговой поляризацией, и их сечение через центр пучка вдоль оси X (в)

Из рис. 5а видно, что при изменении эллиптичности падающего пучка световая энергия перераспределяется из одного фокусного пятна в другое. То есть, измеряя по отдельности оба максимума интенсивности, можно оценить направление вращения и эллиптичность поляризации падающего пучка при условии,

что максимальный диаметр эллипса вращения вектора $\mathbf{E}$ расположен вдоль оси X . Если наибольший диаметр эллипса расположен вдоль оси Y , то зависимости схожие (рис. 5б). Таким образом, с помощью металинзы можно оценить эллиптичность поляризации при обоих рассмотренных расположениях наиболь-

шего диаметра эллипса поляризации как вдоль оси X , так и вдоль оси Y . Отметим, что пересечение линий интенсивности правого и левого максимума не совпадает с линейной поляризацией на входе. Это произошло, так как интенсивности правого и левого максимумов при линейной поляризации не равны в точности. Такая погрешность формирования максимумов интенсивности связана с асимметричным рисунком металлинзы, который вносит погрешности в формирование поля после нее.

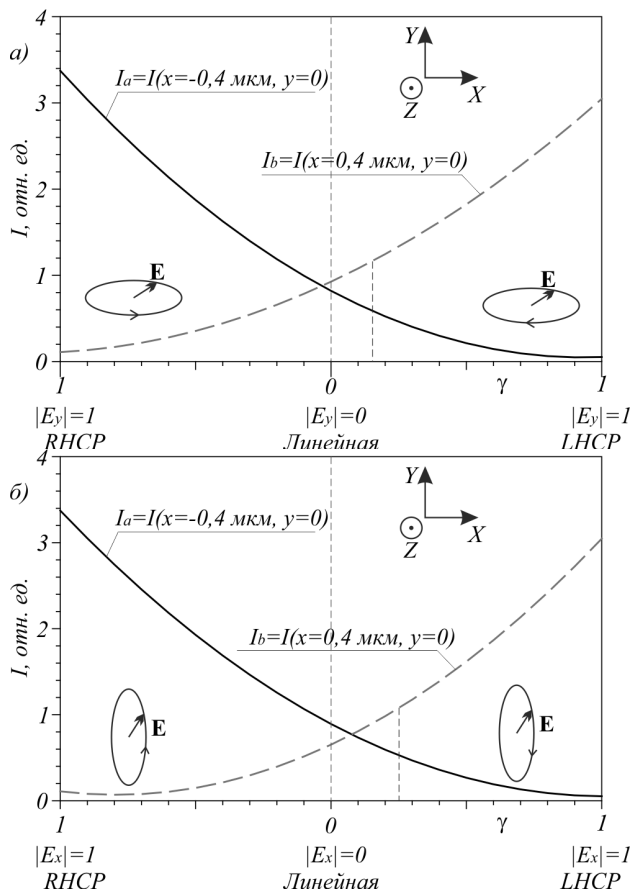


Рис. 5. Зависимость интенсивности каждого из двух максимумов интенсивности от эллиптичности и направления вращения вектора падающего электрического поля для эллипса с большим диаметром вдоль оси X (а) и Y (б)

Эллиптичность поляризации можно охарактеризовать с помощью параметра γ , $\gamma = |E_y|/|E_x|$ при $|E_x|=1$, $0 < |E_y| < 1$, или $\gamma = |E_x|/|E_y|$ при $|E_y|=1$, $0 < |E_x| < 1$. Например, пусть интенсивность фокусного пятна справа $I_b = 0.4$ в относительных единицах, интенсивность левого фокусного пятна $I_a = 0.2$ отн. ед. Принимая во внимание, что $I_b/I_a = 2$, из рис. 5б можно найти, что соответствующее значение $\gamma = 0.25$ и поляризация левая эллиптическая, если эллипс поляризации расположен вдоль оси Y , или $\gamma = 0.16$ и поляризация также левая эллиптическая, если эллипс поляризации расположен вдоль оси X (рис. 5а). Если не известно, вдоль какой декартовой оси вытянут эллипс поляризации, то для однозначного определения поляризационного состояния пучка нужно провести измерения

дважды и перед вторым измерением повернуть металлинзу вместе с фотоприемником в фокусе вокруг оптической оси на 90 градусов. При этом вытянутость поляризации эллипса из вертикальной станет горизонтальной (или наоборот). Тогда если при втором измерении отношение интенсивности правого максимума к левому увеличится, то, значит, для правой поляризации эллипс поляризации вытянут вдоль горизонтальной оси. И наоборот, если при втором измерении отношение интенсивности правого максимума к левому уменьшится, то, значит, для правой поляризации эллипс поляризации был вытянут вдоль вертикальной оси. Аналогично можно оценивать и случай с левой эллиптической поляризацией.

Работа металлинзы с различными длинами волн

Данную металлинзу можно использовать для определения не только поляризации, но и длины волны падающего света в некотором диапазоне. Кроме того, металлинза способна разделять правую и левую круговую поляризацию в некотором диапазоне длин волн, более широком, при этом фокусное пятно будет расположено или слева, или справа от оптической оси (вдоль оси X).

На рис. 6а показана зависимость интенсивности в центре фокусного пятна справа от оптической оси от длины волны падающего света. Моделирование проводилось в диапазоне от 0,433 мкм до 0,981 мкм с шагом 4 нм. Видно, что в диапазоне приблизительно от 0,55 мкм до 0,92 мкм можно по интенсивности в фокусном пятне однозначно определить наличие левой круговой поляризации. На рис. 7 показана зависимость смещения центра фокусного пятна от длины волны света при падающем поле с левой круговой поляризацией и длиной волны от 0,55 до 0,925 мкм.

Видно, что в диапазоне от 0,64 до 0,88 мкм можно по координате максимума фокусного пятна оценить длину волны падающего света. При изменении длины волны от $\lambda = 0.64$ до $\lambda = 0.837$ мкм координата X фокусного пятна изменяется в диапазоне от $X = 0.41$ до $X = 0.08$ почти линейно. Погрешность оценки длины волны света по координате из-за неравномерности графика составляет примерно 20 нм. При этом для демультиплексирования падающих волн с круговой поляризацией металлинзу можно использовать в большем диапазоне длин волн, от 0,55 до 0,925 мкм. На рис. 8а показаны зависимости интенсивности света в фокусном пятне с координатой $X < 0$, интенсивность в месте расположения фокусного пятна падающей волны с левой круговой поляризацией справа ($X = 0.44$ мкм). На рис. 8б приведена зависимость координаты X фокусного пятна от длины волны света в диапазоне длин волн от 0,525 до 0,925 мкм. Параметры моделирования аналогичны рис. 6, 7, за исключением падающей волны, в данном случае использовалась правая круговая поляризация.

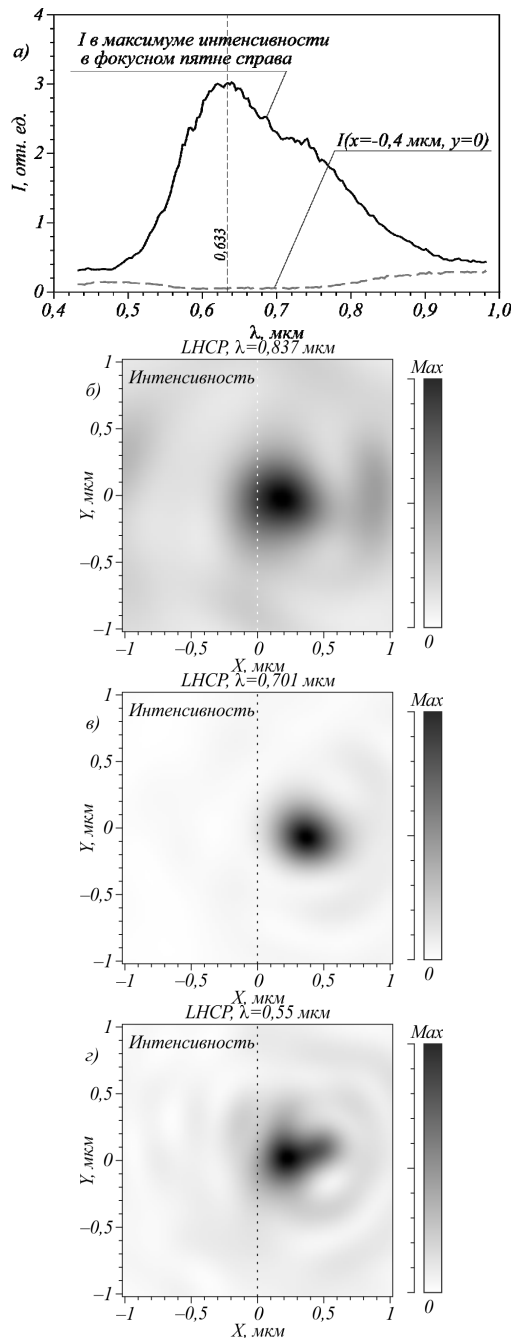


Рис. 6. Зависимость интенсивности в фокусном пятне справа ($x > 0$, непрерывная линия) и в точке фокусного пятна слева ($x = -0,4$, пунктирная линия) от длины волны падающего света (а); распределение интенсивности в фокусной плоскости при длине волны падающего излучения $\lambda = 0,837$ мкм (б), $\lambda = 0,701$ мкм (в), $\lambda = 0,55$ мкм (г). Падающее поле имеет левую круговую поляризацию

Результаты моделирования на рис. 8 подтверждают, что металлинзу можно использовать для демultipлексирования круговых поляризаций разного направления в широком диапазоне длин волн, в данном случае от 0,525 мкм до 0,925 мкм. В диапазоне от 0,64 до 0,88 мкм координата X центра фокусного пятна практически линейно зависит от длины волны λ , что также может быть использовано для дополни-

тельной оценки длины волны падающего излучения. Изменение длины волны света от 0,64 до 0,88 мкм влечет сдвиг фокусного пятна на 0,31 мкм, от координаты $X = -0,41$ до $X = -0,1$ мкм. При этом точность оценки длины волны падающего света по координате фокусного пятна такая же, порядка 20 нм, что также объясняется неравномерностью графика на рис. 8б.

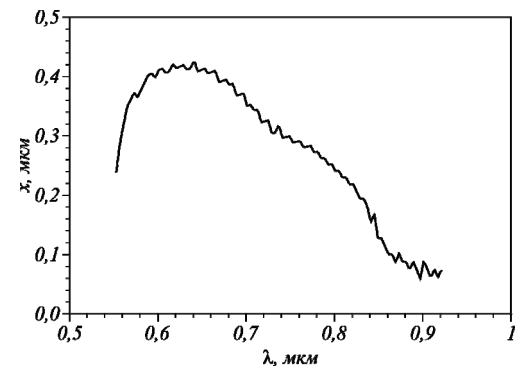


Рис. 7. Зависимость смещения фокусного пятна на рис. 6 от длины волны света вдоль оси X

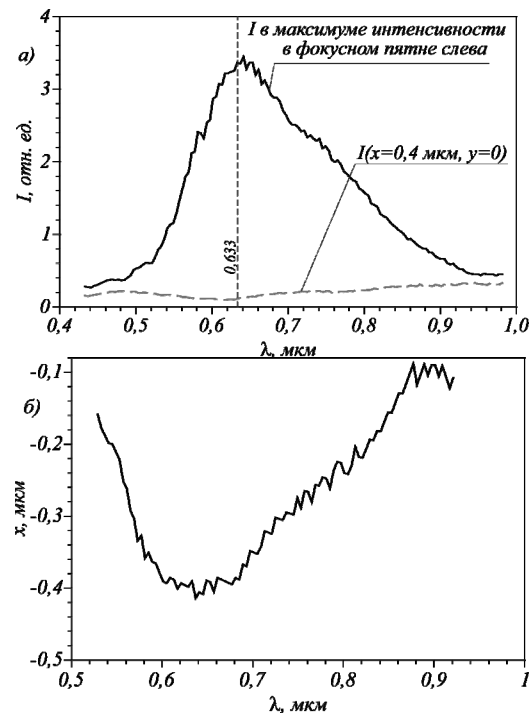


Рис. 8. Зависимость интенсивности в фокусном пятне слева ($x < 0$, непрерывная линия) и в точке фокусного пятна справа ($x = 0,4$, пунктирная линия) (а) и его координаты (б) от длины волны падающего света с RHCP

Отметим, что в диапазоне длин волн от 0,55 до 0,64 мкм для левой круговой поляризации и от 0,525 до 0,64 мкм для правой круговой поляризации по сдвигу фокусного пятна тоже можно судить о длине волны. Однако это возможно, только если заранее известно, что падающая длина волны находится в этом диапазоне. Данные диапазоны уже приведены выше, и смещение фокусных пятен в них нелинейно, что вносит дополнительные погрешности в оценку длины волны, но при этом позволяет ее проводить.

Заключение

В работе рассмотрена металинза, рассчитанная в аморфном кремнии, которая содержит в себе периодическую структуру вдоль одной оси и фокусатор. Данная металинза способна разделять свет с линейной поляризацией на круговые поляризации разных знаков и фокусировать свет в два фокусных пятна: в координатах $x=0,4$ мкм, $y=0$ с левой круговой поляризацией и в координатах $x=-0,4$ мкм, $y=0$ с правой круговой поляризацией. С помощью данной металинзы за счет фокусировки света в одно из фокусных пятен можно детектировать падающую круговую поляризацию. Также с ее помощью можно детектировать и эллиптическую поляризацию. В работе показано, что если наибольший диаметр эллипса, описываемый электрическим вектором, расположен вдоль осей X или Y , то из отношения интенсивностей двух фокусных пятен друг к другу можно оценить параметр эллиптичности поляризации, выраженный как отношение модулей амплитуды поперечных проекций электрического поля. Данная металинза способна работать как разделитель круговых поляризаций в диапазоне длин волн от 0,55 до 0,925 мкм. Кроме того, дополнительно к этому можно оценить длину волны света в диапазоне от 0,64 до 0,88 мкм за счет смещения максимума интенсивности вдоль оси X почти пропорционально длине волны света.

Если провести два измерения отношения интенсивностей максимумов двух пучков в фокусе металинзы и перед вторым измерением повернуть метализу вместе с фотоприемником относительно оптической оси на 90 градусов, то можно однозначно определить направление вращения вектора поляризации (левое или правое), степень поляризации (отношение длин осей эллипса поляризации) и направление большей оси эллипса поляризации (вдоль x или вдоль оси y).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 23-12-00236) («Разделение эллиптических поляризаций», «Работа металинзы с различными длинами волн»), а также по государственному заданию НИЦ «Курчатовский институт» («Введение», «Заключение»).

References

- [1] Schuller JA, Barnard ES, Cai W, Jun YC, White JS, Brongersma ML. Plasmonics for extreme light concentration and manipulation. *Nat Mater* 2010; 9(3): 193-204. DOI: 10.1038/nmat2630.
- [2] Maier SA. Plasmonics: Fundamentals and applications. Springer Science+Business Media LLC; 2007. ISBN: 978-0-387-33150-8.
- [3] Staude I, et al. Tailoring directional scattering through magnetic and electric resonances in subwavelength silicon nanodisks. *ACS Nano* 2013; 7(9): 7824-7832. DOI: 10.1021/nn402736f.
- [4] Arbabi A, Horie Y, Bagheri M, Faraon A. Dielectric metasurfaces for complete control of phase and polariza-

- tion with subwavelength spatial resolution and high transmission. *Nat Nanotechnol* 2015; 10(11): 937-943. DOI: 10.1038/nnano.2015.186.
- [5] Koshelev K, Kivshar Y. Dielectric resonant metaphotonics. *ACS Photonics* 2020; 8(1): 102-112. DOI: 10.1021/acsp Photonics.0c01315.
- [6] Lee GY, et al. Metasurface eyepiece for augmented reality. *Nat Commun* 2018; 9(1): 4562. DOI: 10.1038/s41467-018-07011-5.
- [7] Tittl A, et al. Imaging-based molecular barcoding with pixelated dielectric metasurfaces. *Science* 2018; 360(6393): 1105-1109. DOI: 10.1126/science.aas9768.
- [8] Kim I, et al. Holographic metasurface gas sensors for instantaneous visual alarms. *Sci Adv* 2021; 7(15): eabe9943. DOI: 10.1126/sciadv.abe9943.
- [9] Pahlevaninezhad H, et al. Nano-optic endoscope for high-resolution optical coherence tomography *in vivo*. *Nat Photonics* 2018; 12(9): 540-547. DOI: 10.1038/s41566-018-0224-2.
- [10] 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.
- [11] Kotlyar VV, Nalimov AG, Stafeev SS, Hu C, O'Faolain L, Kotlyar MV, Gibson D, Song S. Thin high numerical aperture metalens. *Opt Express* 2017; 25(7): 8158-8167. DOI: 10.1364/OE.25.008158.
- [12] Chen X, et al. Dual-polarity plasmonic metalens for visible light. *Nat Commun* 2012; 3: 1198. DOI: 10.1038/ncomms2207.
- [13] Qiu X, Xie L, Qiu J, Zhang Z, Du J, Gao F. Diffraction-dependent spin splitting in spin Hall effect of light on reflection. *Opt Express* 2015; 23(15): 18823-18831. DOI: 10.1364/OE.23.018823.
- [14] Huang L, et al. Helicity dependent directional surface plasmon polariton excitation using a metasurface with interfacial phase discontinuity. *Light Sci Appl* 2013; 2: e70. DOI: 10.1038/lsa.2013.26.
- [15] Xiao S, Zhong F, Liu H, Zhu S, Li J. Flexible coherent control of plasmonic spin-Hall effect. *Nat Commun* 2015; 6: 8360. DOI: 10.1038/ncomms9360.
- [16] Puentes G, Takayama O, Sukham J, Malureanu R, Lavinrenko AV. First experimental observation of photonic spin Hall effect in hyperbolic metamaterials at visible wavelengths. 2019 Conf on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC) 2019: 1-1. DOI: 10.1109/CLEO-EQEC.2019.8872873.
- [17] Yin X, Ye Z, Rho J, Wang Y, Zhang X. Photonic spin Hall effect at metasurfaces. *Science* 2013; 339(6126): 1405-1407. DOI: 10.1126/science.1231758.
- [18] Kim M, Lee D, Yang Y. Reaching the highest efficiency of spin Hall effect of light in the near-infrared using all-dielectric metasurfaces. *Nat Commun* 2022; 13: 2036. DOI: 10.1038/s41467-022-29771-x.
- [19] Kim M, Lee D, Ko B, Rho J. Diffraction-induced enhancement of optical spin Hall effect in a dielectric grating. *APL Photonics* 2020; 5: 066106. DOI: 10.1063/5.0009616.
- [20] Zhang T, Wang H, Peng C, Chen Z. Linear-to-dual-circular polarization decomposition metasurface based on rotated trimming-stub-loaded circular patch. *Crystals* 2023; 13(5): 831. DOI: 10.3390/cryst13050831.
- [21] Li SJ, Han BW, Li ZY, Liu XB, Huang GS, Li RQ, Cao XY. Transmissive coding metasurface with dual-circularly polarized multi-beam. *Opt Express* 2022; 30(15): 26362-26376. DOI: 10.1364/OE.466036.

[22] Wang Z, Zhou D, Liu Q, Yan M, Wang X. Dual-mode vortex beam transmission metasurface antenna based on linear-to-circular polarization converter. Opt Express 2023; 31(22): 35632-35643. DOI: 10.1364/OE.497017.

[23] Nalimov AG, Kovalev AA. Spin Hall effect of linearly polarized light passed through a metasurface. Computer Optics 2024; 48(5): 662-668. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1500.

Сведения об авторах

Сведения об авторах **Налимов Антон Геннадьевич, Котляр Виктор Викторович, Ковалёв Алексей Андреевич** – см. стр. 179 этого номера.

Полетаев 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

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 ИСОИ, НИЦ «Курчатовский институт» в должности инженера. E-mail: khanenko.yuv@ssau.ru

ГРНТИ: 29.31.15

Поступила в редакцию 5 марта 2024 г. Окончательный вариант – 26 марта 2024 г.

Detection of elliptical polarization parameters using a metalens

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

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

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

Abstract

A metalens capable of detecting the polarization ellipticity of an incident beam is considered in this paper. This metalens consists of blocks with diffraction gratings of a 140-nm height and a 220-nm period. The metalens operates as a polarizer, which depends on one transverse coordinate, and a focuser. It is capable of both separating linearly polarized radiation into two focal spots with the opposite-handed circular polarizations and detecting the circular polarization handedness and degree of its ellipticity. Operating in a wide range of wavelengths from 0.55 to 0.837 μm , the metalens can be used in the range from 0.64 to 0.837 μm to identify the incident radiation wavelength due to an almost linear shift of the focal spot in the transverse plane with the wavelength.

Keywords: metasurface, spin angular momentum, spin Hall effect, detection of elliptical polarization.

Citation: Nalimov AG, Kotlyar VV, Kovalev AA, Poletaev SD, Khanenko YV. Detection of elliptical polarization parameters using a metalens. *Computer Optics* 2025; 49(2): 180-186. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1515.

Acknowledgements: The work was partly funded by the Russian Science Foundation under grant #23-12-00236 (Sections “Demultiplexing of elliptical polarizations”, “Operation of the metalens at different wavelengths”) and within the government project of the NRC “Kurchatov Institute” (Sections “Introduction”, “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

Victor Victorovich Kotlyar is a head of Laboratory at the Image Processing Systems Institute, NRC Kurchatov Institute and professor of Computer Science department at Samara National Research University. He received his MS, PhD and DrSc degrees in Physics and Mathematics from Samara State University (1979), Saratov State University (1988) and Moscow Central Design Institute of Unique Instrumentation, the Russian Academy of Sciences (1992). He is SPIE- and OSA-member. He is co-author of 560 scientific papers, 5 books and 7 inventions. His current interests are diffractive optics, gradient optics, nanophotonics and optical vortices. E-mail: kotlyar@ipsiras.ru

Alexey Andreevich Kovalev (b. 1979), graduated (2002) from Samara National Research University, majoring in Applied Mathematics. He received his Doctor in Physics & Maths degree in 2012. He is a senior researcher of Laser Measurements laboratory at IPSI, NRC Kurchatov Institute. He is a co-author of more than 200 scientific papers. His current research interests are mathematical diffraction theory and photonic crystal devices. E-mail: alanko@ipsiras.ru ORCID: 0000-0002-0488-4267.

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

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

Received March 5, 2024. The final version – March 26, 2024.
