

Острая фокусировка пучков с гибридной циркулярно-азимутальной поляризацией

С.С. Стафеев^{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 теоретически рассматривается острая фокусировка гибридно-поляризованных пучков. Получены аналитические выражения для проекций векторов напряженности электрического и магнитного полей в фокусе, а также для распределения интенсивности, проекций вектора Пойнтинга и вектора спинового углового момента.

Ключевые слова

Острая фокусировка, гибридная поляризация, вектор Пойнтинга, спиновый угловой момент

1. Введение

Большое распространение в настоящее время получило изучение гибридных векторных пучков [1-7] – пучков, в которых периодически меняется не только направление поляризации, но и фаза. При этом может меняться как фаза волнового фронта пучка – тогда можно получать пучки, обладающие одновременно сингулярностью фазы и поляризации [1], так и разница фаз между компонентами вектора напряженности электрического поля в разложении по базису декартовой или цилиндрической системы координат, ось z которой направлена вдоль оси распространения пучка – тогда в сечении полученных пучков будет происходить изменение поляризации с линейной на круговую и обратно [2].

В данной работе теоретически рассматривается острая фокусировка нового типа гибридной поляризации. В работе получены аналитические выражения для проекций векторов напряженности электрического и магнитного полей в фокусе, а также для распределения интенсивности, проекций вектора Пойнтинга и вектора спинового углового момента.

2. Гибридная циркулярно-азимутальная поляризация

В данной работе исследования осуществлялись с помощью формул Ричардса-Вольфа [8]. Рассмотрим амплитуды начальных векторов напряженности электрического и магнитного полей с гибридной поляризацией m -го порядка в следующем виде:

$$\mathbf{E} = A(\theta) \begin{pmatrix} -i \sin m\varphi \\ \cos m\varphi \end{pmatrix}, \quad \mathbf{H} = A(\theta) \begin{pmatrix} -\cos m\varphi \\ -i \sin m\varphi \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где \mathbf{E} и \mathbf{H} – вектора напряженности электрического и магнитного полей, m – целое положительное число, определяющее порядок цилиндрической поляризации, $A(\theta)$ – амплитуда начального светового поля в координатах входного зрачка. Вектор Пойнтинга будем искать по формуле $\mathbf{P} = \text{Re}(\mathbf{E}^* \times \mathbf{H})$.

3. Результаты моделирования

На рис. 1 показаны распределения интенсивности и стрелками показано направление поперечного вектора Пойнтинга в фокальной плоскости при фокусировке плоской волны с гибридной поляризацией (1) с $m=2$ (а) и $m=3$ (б) апланатическим объективом с числовой апертурой $NA = \sin(\theta_{\max}) = 0,95$. Из рис. 1 видно, что число вихрей поперечного потока равно $4m=8$ (а) и $4m=12$ (б). Из рис. 1 также можно видеть, что центры вихрей поперечного потока энергии в фокусе не совпадают с локальными максимумами интенсивности. Центры вихрей находятся в точках, в которых поперечный поток энергии равен нулю.

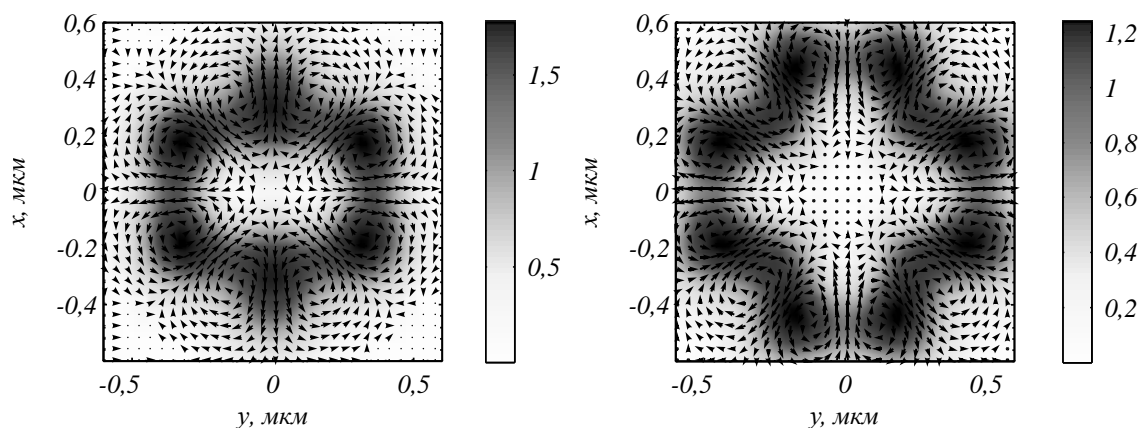


Рисунок 1: Распределение интенсивности (полутона) и величина и направление вектора Пойнтинга (стрелки) в фокальной плоскости при фокусировке плоской волны с гибридной поляризацией (1) с $m=2$ (а) и $m=3$ (б)

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН в части «Введение», Российского научного фонда (грант № 18-19-00595) в части «Гибридная циркулярно-азимутальная поляризация», Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ (грант № 18-29-20003) в части «Результаты моделирования»).

5. Литература

- [1] D'Errico, A. Topological features of vector vortex beams perturbed with uniformly polarized light / A. D'Errico, M. Maffei, B. Piccirillo, C. de Lisio, F. Cardano, L. Marrucci // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7(1). – P. 40195.
- [2] Gao, X.-Z. Redistributing the energy flow of tightly focused ellipticity-variant vector optical fields / X.-Z. Gao, Y. Pan, G.-L. Zhang, M.-D. Zhao, Z.-C. Ren, C.-G. Tu, Y.-N. Li, H.-T. Wang // Photonics Res. – 2017. – Vol. 5. – P. 640.
- [3] Wang, X.L. A new type of vector fields with hybrid states of polarization / X.L. Wang, Y.N. Li, J. Chen, C.S. Guo, J.P. Ding, H.T. Wang // Opt Express. – 2010. – Vol. 18. – P. 10786-10795.
- [4] Hu, K. Tight focusing properties of hybridly polarized vector beams / K. Hu, Z. Chen, J. Pu // J Opt Soc Am A. – 2012. – Vol. 29. – P. 1099-1104.
- [5] Lerman, G.M. Generation and tight focusing of hybridly polarized vector beams / G.M. Lerman, L. Stern, U. Levy. – Opt Express. – 2010. – Vol. 18. – P. 27650-27657.
- [6] Hu, H. The tight focusing properties of spatial hybrid polarization vector beam / H. Hu, P. Xiao // Optik. – 2013. – Vol. 124. – P. 2406-2410.
- [7] Khonina, S.N. Vortex beams with high-order cylindrical polarization: features of focal distributions // Appl Phys B. – 2019. – Vol. 125. – P. 100.

- [8] Richards, B. Electromagnetic Diffraction in Optical Systems. II. Structure of the Image Field in an Aplanatic System / B. Richards, E. Wolf // Proceedings of the Royal Society A. – 1959. – Vol. 253(1274). – P. 358-379.