

Теоретическое и экспериментальное исследование спиральной зонной пластинки в тонкой пленке алюминия

Е.С. Козлова^{1,2}, С.С. Стафеев², В.В. Подлипов^{1,2}, С.А. Фомченков^{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 работе теоретически и экспериментально исследуется амплитудная спиральная зонная пластинка второго порядка. В ходе исследования были рассчитана оптимальная толщина пленки алюминия, после чего зонная пластинка была изготовлена с помощью технологий электронно-лучевой литографии и "лифт-офф" процесса. С помощью ближнепольного электронного микроскопа продемонстрирована возможность формирования изготовленной спиральной зонной пластинкой оптического вихря.

Ключевые слова

спиральная зонная пластинка, СБОМ, FDTD-метод, оптический вихрь, топологический заряд

1. Введение

Исследования по генерации [1] и фокусировке [2] вихревых пучков занимают значительную часть современных научных работ. Оптические вихри (ОВ) могут быть сформированы спиральными аксиконами [1] или зонными пластинками (ЗП) [3], метаповерхностями [4] и т.д.. Благодаря своим уникальным свойствам такие пучки имеют множество приложений, в том числе телекоммуникации [5] и оптический захват микрочастиц [6].

2. Моделирование

В данной работе исследовано формирование и фокусировка оптических вихрей с помощью амплитудной спиральной зонной пластинки (СЗП) второго порядка с рельефом из алюминия. Теоретическое исследование проводилось путем численного моделирования с помощью FDTD-метода. В ходе моделирования использовались следующие параметры сетки: 10 нм - шаг по поперечным координатам и продольной координате соответственно. Шаг по псевдо-времени был выбран равным 5 нм. Гауссов пучок с длиной волны 0,532 мкм и левой и правой круговой поляризацией рассматривался в качестве падающего излучения. Численно было исследовано влияние толщины рельефа амплитудной СЗП на продольную компоненту вектора Умова-Поинтинга в формируемых ею оптических вихрях. Показано, что использование алюминиевых пленок толщинами порядка 50-70 нм позволяет получить наименьшее значение продольной компоненты вектора Умова-Поинтинга на оптической оси (т.е. максимальный обратный поток). Исследуемая СЗП с топологическим зарядом 2 была изготовлена с помощью техники электронно-лучевой литографии и "лифт-офф" процесса. С помощью сканирующего ближнепольного оптического микроскопа (СБОМ) показано, что изготовленная из алюминия СЗП с высотой рельефа 80 нм, диаметром 8 мкм и фокусным расстоянием равным 532 нм, при освещении ее линейно поляризованным Гауссовым пучком формирует на расстоянии 500 нм оптический вихрь, интенсивность которого представляет два ярко выраженных пика, вращающихся в направлении часовой стрелки. На рис. 1 представлены результаты теоретического и экспериментального исследования алюминиевой СЗП.

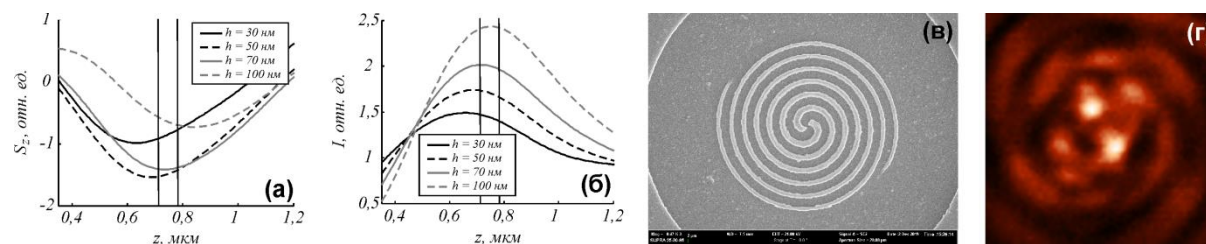


Рисунок 1: Результаты численного моделирования (а-б), изготовленная СЗП (в), распределение интенсивности, формируемое изготовленной СЗП и измеренное с помощью СБОМ (г)

3. Заключение

В работе теоретически и экспериментально исследована амплитудная СЗП второго порядка. В ходе исследования были рассчитана оптимальная толщина пленки алюминия, которая составила 70 нм. СЗП была изготовлена с помощью технологий электронно-лучевой литографии и "лифт-офф" процесса. С помощью СБОМ продемонстрирована возможность формирования изготовленной СЗП с высотой рельефа 80 нм, диаметром 8 мкм и фокусным расстоянием равным 532 нм, при освещении ее линейно поляризованным Гауссовым пучком оптического вихря на расстоянии 500 нм.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ (грант № 18-29-20003) в части экспериментального исследования СЗП, Российского научного фонда (грант № 18-19-00595) в численного моделирования СЗП и Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН в частях «Введение» и «Заключение».

5. Литература

- [1] Nakagawa, K. Laguerre–Gaussian vortex mode generation from astigmatic semiconductor microcavity / K. Nakagawa, K. Yamane, R. Morita, Y. Toda // *Applied Physics Express*. – 2020. – Vol. 13. – P. 042001. DOI: 10.35848/1882-0786/ab7bf7.
- [2] Stafeev, S.S. Tight focusing of a cylindrical vector beam by a hyperbolic secant gradient index lens / S.S. Stafeev, E.S. Kozlova, A.G. Nalimov, V.V. Kotlyar // *Optics Letters*. – 2020. – Vol. 45(7). – P. 1687-1690. DOI: 10.1364/OL.389803.
- [3] Cheng, S. Composite SpiraL Zone PLate / S. Cheng, T. Xia, M. Liu, C. Zheng, H. Zang, S. Tao // *IEEE Photonics Journal*. – 2019. – Vol. 11(1). – P. 4500111 DOI: 10.1109/JPHOT.2018.2885004.
- [4] Kotlyar, V.V. Subwavelength grating-based spiral metalens for tight focusing of laser light / V.V. Kotlyar, S.S. Stafeev, A.G. Nalimov, L. O'Faolain // *Applied Physics Letters*. – 2019. – Vol. 114. – P. 141107. DOI: 10.1063/1.5092760.
- [5] Ren, Y. Turbulence compensation of an orbital angular momentum and polarization-multiplexed link using a data-carrying beacon on a separate wavelength / Y. Ren, G. Xie, H. Huang, L. Li, N. Ahmed, Y. Yan, M.P.J. Lavery, R. Bock, M. Tur, M.A. Neifeld, R.W. Boyd, J.H. Shapiro, A.E. Willner // *Optics Letters*. – 2015. – Vol. 40(10). – P. 2249-2252. DOI: 10.1364/OL.40.002249.
- [6] Nalimov, A.G. Optical force acting on a particle in a reverse energy flow near the focus of a gradient lens / A.G. Nalimov, S.S. Stafeev, V.V. Kotlyar // *Journal of Optics*. – 2020. – Vol. 22(11). – P. 115001. DOI: 10.1088/2040-8986/abb58f.