

УДК 535.4

## **ОПТИМИЗАЦИЯ БИНАРНЫХ ДОЭ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ “УДЛИНЕННОГО ТЕМНОВОГО ФОКУСА” И “СВЕТОВОЙ БУТЫЛКИ”**

Качалов Д.Г., Павельев В.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет), г. Самара  
e-mail:kachalov@ssau.ru

Оптической ловушкой типа «световая бутылка» (“light bottle”) называют такое распределение интенсивности лазерного излучения, в котором область нулевой интенсивности окружена световым барьером [1–4]. Одно из применений «световых бутылок» – захват холодных атомов или молекул [5], а также микрочастиц. Оптические ловушки основаны на силе, которая действует на атомы в поле со смещённой частотой излучения. В световом поле, настроенном выше резонанса, атомы выталкиваются из областей высокой интенсивности, в то время как при настройке ниже резонанса атомы притягиваются в эти области. Разрушительное действие нагрева на захваченные объекты является одной из основных проблем: даже помещение слабопоглощающих диэлектрических частиц в относительно прозрачную среду приводит к их повреждению при высоких оптических интенсивностях. Альтернативой является захват в области с минимальной интенсивностью. Одним из способов формирования областей с минимальной интенсивностью является использование лазерных пучков с винтовой фазовой сингулярностью. Такие пучки несут угловой момент, связанный с вихревой структурой волнового фронта. Отметим, что ловушки, основанные на пучках с винтовой фазовой сингулярностью, вообще говоря, являются двумерными ловушками, т.к. теневая область ограничивается только поперечным световым барьером. При использовании же «световых бутылок» обеспечивается 3D-захват поглощающих и менее плотных, чем окружающая среда частиц. Известны решения задачи формирования световых ловушек на основе использования суперпозиции гауссовых мод, однако эти решения характеризуются низкой дифракционной эффективностью. Известно решение на основе использования комбинации линзы и аксикона, однако такая оптическая система достаточно громоздка. В работе [6] предложена и исследована численная процедура оптимизации бинарных дифракционных оптических элементов (ДОЭ), предназначенных для формирования световых распределений типа «световая бутылка». Предложенная численная процедура основана на модификации генетического алгоритма оптимизации функции многих переменных. В [6] приведены результаты вычислительных экспериментов. В результате работы оптимизационного алгоритма была получена фаза бинарного ДОЭ, формирующего световое распределение типа «световая бутылка» [6]. Фазовая функция элемента, рассчитанного в [6], представлена на рисунке 1. Белый цвет соответствует значению фазовой функции  $\pi$ , черный цвет  $-0$ . На рисунке 2a приведено двумерное распределение интенсивности, формируемое рассчитанным в [6] ДОЭ (результат моделирования, негативное изображение). На рисунке 2b приведено распределение интенсивности в области формирования “световой бутылки”, рассчитанное с помощью преобразования Френеля. Результаты вычислительных экспериментов показали целесообразность применения предложенной численной оптимизационной процедуры к расчету бинарных дифракционных оптических элементов, формирующих световое распределение типа “световая бутылка” [6]. К достоинствам рассмотренного в [6] подхода следует отнести то, что рассчитанные предложенной процедурой бинарные радиально-симметричные ДОЭ относительно просты в изготовлении. Кроме того, предложенная процедура предоставляет возможности управления соотношением интенсивности “светового барьера” оптической ловушки в различных направлениях. В данной работе исследовалась возможность применения численной процедуры, описанной в [6], для формирования “световой бутылки” с вытянутой вдоль оптической оси темновой областью (“удлинённый

темновой фокус”). Кроме того, исследовалась возможность управления соотношением интенсивности барьеров оптической ловушки в разных направлениях.

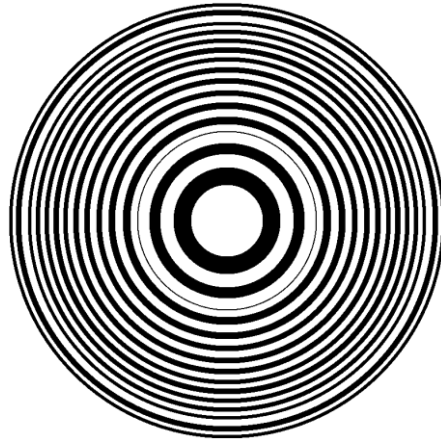
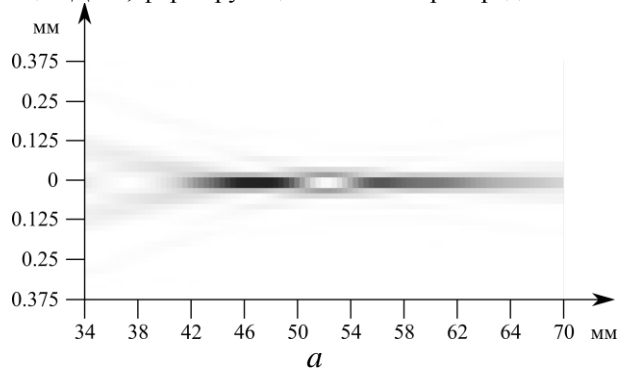


Рисунок 1. Фазовая функция ДОО, формирующего световое распределение типа «световая бутылка»



*b*

Рисунок 2. Двумерное распределение интенсивности, формируемое рассчитанным ДОО вдоль оптической оси (результат численного моделирования [6], негативное изображение)(а), распределение интенсивности в области формирования «световой бутылки» (результат численного моделирования [6], негативное изображение) (b)

### Список литературы

1. Ozeri, R. Long spin relaxation times in a single-beam blue-detuned optical trap / R. Ozeri, L. Khaykovich, N. Davidson // *Phys. Rev. A.* – 1999. – Vol. 59(3). – P. R1750– R1753.
2. Arlt, J. Generation of beam with a dark focus surrounded by regions of higher intensity: the optical bottle beam // *Opt. Lett.* – 2000. – Vol. 25(4). – P. 191–193.
3. Yelin, D. Generating an adjustable three-dimensional dark focus / D. Yelin, B. E. Bouma, G. J. Tearney // *Opt. Lett.* – 2004. Vol. 29(7). P. 661–663.
4. Ashkin, A. Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles / Ashkin A., Dziedzic J. M., Bjorkholm J. E., Chuk S. // *Opt. Lett.* – 1986. – Vol 11(5). – P. 288–290.
5. Сойфер, В.А. Оптическое манипулирование микрообъектами: достижения и новые возможности, порождённые дифракционной оптикой / В.А. Сойфер, В.В. Котляр, С.Н. Хонина // *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* – 2004. – Т. 35(6). – С. 1368-1432.
6. Качалов, Д.Г., Гамазков, К.А., Павельев, В.С., Хонина, С.Н. Оптимизация бинарного ДОО для формирования «световой бутылки»// *Компьютерная оптика*, том 35, №1.