

## ДИФРАКЦИОННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СБОРКИ МИКРОСИСТЕМ

© 2010 А. П. Порфирьев

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Представлены результаты расчёта фокусирующих дифракционных оптических элементов (ДОЭ), формирующих пучки с заданным видом амплитудно-фазового распределения, которые могут быть использованы для решения задачи сборки микросистем. Представлены результаты экспериментов по формированию таких световых полей при помощи бинарного пространственного модулятора света.

*Фильтрация микрочастиц, сортировка микрочастиц, позиционирование микрочастиц, перемещение микрочастиц, фокусатор, оптический захват.*

### Введение

Задача сборки микросистем включает в себя ряд подзадач, без решения которых невозможно построение таких систем в крупных масштабах. К этим подзадачам относятся:

- фильтрация отдельных частиц по размерам [1, 2];
- сортировка частиц по размерам [1, 2, 3];
- перемещение частиц по заданной траектории [4, 5, 6, 7];
- транспортировка частиц в заданное положение (позиционирование частиц) [6, 7, 8, 9].

Автоматическое осуществление этих операций позволяет существенно увеличить масштабы и скорость сборки.

Первые эксперименты по манипуляции микрообъектами лазерным излучением были проведены в 1970 г. А. Эшкиным [10]. На частицу, помещённую в область светового пучка, можно оказывать воздействие как путём формирования амплитудной составляющей светового поля, так и путём формирования его фазовой составляющей. Поэтому с помощью фокусаторов, формирующих заданное амплитудно-фазовое распределение, можно оказывать двойное влияние на движение микрочастиц. Много работ посвящено перемещению микрочастиц по круговой траектории [11-15]. Есть работы, в которых ДОЭ формировали за-

данную интенсивность, при этом световое поле обладало и некоторой заранее известной фазой [4]. В [4] световой пучок имел вихревую фазу с заданным угловым орбитальным моментом, т.е. фактически фокусатор формировал вихревое световое поле с заданной интенсивностью, что позволило осуществлять манипуляцию микрочастицами. В [1] рассматривается метод расчёта фокусаторов, которые позволяют формировать практически произвольное амплитудно-фазовое распределение, и приведены результаты экспериментов по использованию таких элементов для перемещения и позиционирования частиц полистирола диаметром 5 мкм.

В настоящей работе представлены результаты расчёта фокусирующих дифракционных оптических элементов (ДОЭ), формирующих пучки с заданным видом амплитудно-фазового распределения, которые могут быть использованы для решения представленных выше задач микросборки.

### Расчёт фокусаторов, формирующих заданные амплитудно-фазовые распределения

Процедура расчёта фокусирующих ДОЭ, рассмотренная в работе [1] и основанная на кодировании амплитуды методом локального скачка [16], имеет ряд недостатков. Так, при усложнении структу-

ры амплитудного распределения рассчитать элемент, формирующий требуемое световое поле с достаточной точностью, можно только, пожертвовав дифракционной эффективностью (рис. 1б). И чем сложнее формируемое изображение, тем с меньшей эффективностью оно будет формироваться. Расчёт поля с большей эффективностью приводит к перераспределению интенсивности в формируемом распределении по сравнению с заданным (рис. 1в). Для большинства случаев эту проблему удалось решить путём внесения искажения в первоначально заданное распределение интенсивности. Искажения выражались в усилении или ослаблении интенсивности отдельных участков заданных изображений в зависимости от интенсивности этих участков в формируемом первоначальном изображении. Это дополнение позволяло рассчитывать фокусаторы, формирующие необходимые распределения, и для случаев сложных структур (рис. 1з).

Отметим, что рассчитанные фазы ДОЭ имели бинарный рельеф, поэтому они формируют изображения в двух порядках и, соответственно, под дифракционной эффективностью элемента понимается суммарная эффективность двух порядков.

### Оптическая схема эксперимента

Для проведения экспериментов по формированию полей была собрана оптическая схема, представленная на рис. 2. Для реализации фазового профиля элементов был использован бинарный про-

странственный модулятор света CRL OPTO с разрешением экрана –  $1280 \times 1024$  пикселей. На его экран выводится бинарная фазовая функция фокусатора, которая в точности повторяет задаваемую фазу.

Светофильтры использовались для ослабления пучка, чтобы не повредить матрицу видеокамеры. Первая линза расширяла пучок, чтобы он мог перекрыть всю область элемента, выведенного на экран модулятора. Вторая линза фокусировала падающий на неё пучок на матрицу видеокамеры.

### Позиционирование микрочастиц

Позиционирование частиц представляет большой интерес для решения задачи сборки микросистем, так как, очевидно, что для их сборки необходимо расположить составляющие компоненты в нужных точках. Для решения задачи позиционирования отдельных частиц был выбран фокусатор, формирующий световое поле в виде креста с линейным возрастанием фазы от краёв его лучей к центру [1] (рис. 3). Попадая в область такого креста, микрочастица должна втягиваться внутрь одной из линий образующих крест и под действием градиента фазы переместиться в центр креста.

Рассчитанный фазовый бинарный элемент, теоретическое и экспериментальное распределение интенсивности представлены на рис. 4. Рассчитанная дифракционная эффективность такого элемента составила  $\approx 97\%$  ( $\pm 1$  порядки).

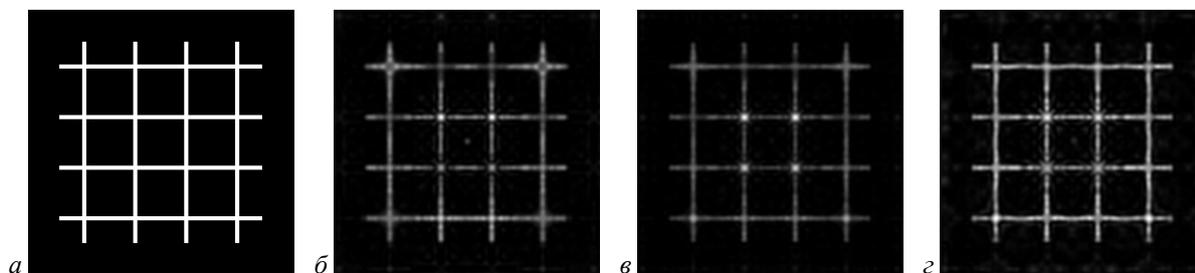


Рис. 1. Требуемое распределение интенсивности (а), сформированное распределение интенсивности с эффективностью  $\approx 6\%$  (б), сформированное распределение интенсивности с эффективностью  $\approx 26\%$  (в), сформированное распределение интенсивности с эффективностью  $\approx 28\%$  (з)

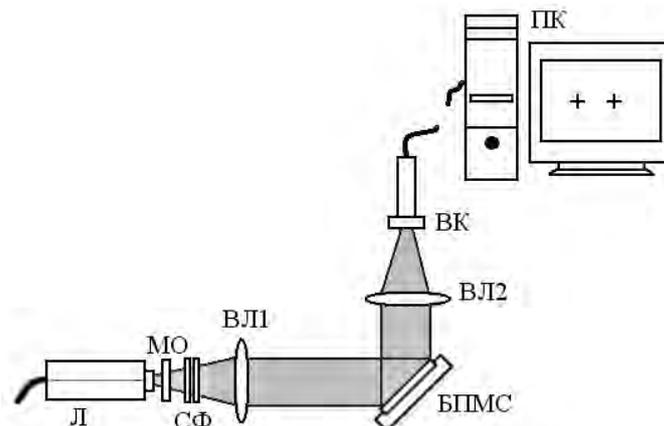


Рис. 2. Оптическая схема, использованная в эксперименте с рассчитанными бинарными фокусаторами.  
 Л – лазер с длиной волны 457 нм, СФ – светофильтры, ВЛ1, ВЛ2 – выпуклые линзы,  
 МО – микрообъектив, БПМС – бинарный пространственный модулятор света CRL OPTO,  
 ВК – видеокамера, ПК – персональный компьютер

На основе этого элемента был рассчитан ряд элементов с амплитудно-фазовым распределением либо в виде набора таких крестов, либо в виде решётки, с линейным увеличением фазы вдоль образующих её линий и максимумом фазы в её узлах. Рассчитанная эффективность таких элементов в зависимости от структуры изменяется от 20 до 90 процентов.

Принцип действия таких решеток на микрочастицы аналогичен случаю светового поля в виде креста: частица должна втягиваться в область линий и двигаться по направлению к узлам решетки. Рассчитанные элементы, теоретические и экспериментальные распределения интенсивности представлены на рис. 5.

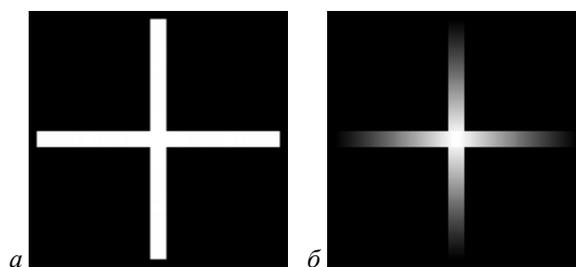


Рис. 3. Заданные интенсивность (а) и фаза (б) эталона для расчёта ДОЭ, формирующего световое поле в виде креста с линейным возрастанием фазы от краёв лучей к центру.  
 При переходе от чёрного к белому фаза меняется на 2

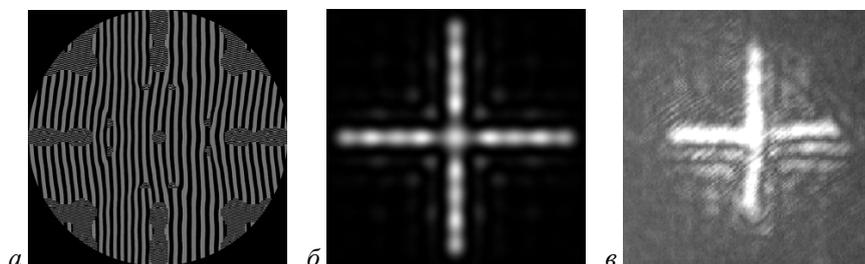


Рис. 4. Рассчитанное фазовое распределение (а), теоретический вид интенсивности (б), экспериментальный вид интенсивности (в), получаемые при освещении лазером ДОЭ, формирующего световое поле в виде креста с линейным возрастанием фазы от краёв лучей к центру

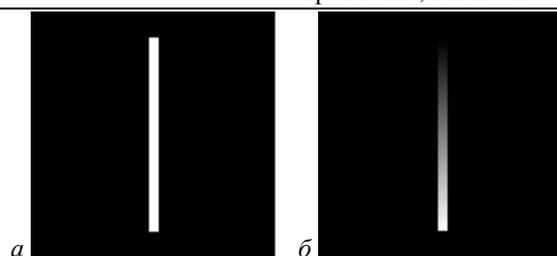


Рис. 6. Заданные интенсивность (а) и фаза (б) эталона для расчёта ДОЭ, формирующего световое поле в виде линии с линейным возрастанием фазы. При переходе от чёрного к белому фаза меняется на  $2\pi$

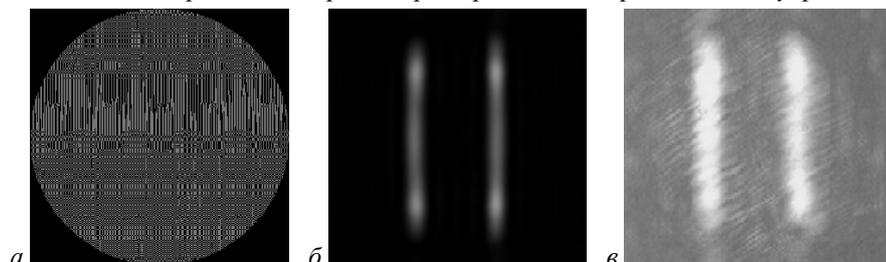


Рис. 7. Рассчитанное фазовое распределение (а), теоретический вид интенсивности (б), экспериментальный вид интенсивности (в), получаемые при освещении лазером ДОЭ, формирующего световое поле в виде линий с линейным возрастанием фазы

### Сортировка частиц по размерам

Под сортировкой частиц по размерам подразумевается задача выделения из общего потока различных частиц, частиц с определённым диаметром. Для этой цели может быть использована световая линия с градиентом интенсивности [2], при этом фазовая составляющая поля не учитывается. Но, дополнительно воздействуя при помощи фазового распределения (рис. 6) на микрочастицу, уже захваченную в световую линию, можно добиться улучшения качественных характеристик такой системы сортировки. Например, повышая порядок изменения фазы вдоль линии, можно добиться увеличения скорости отвода частиц, что позволит сортировать большее количество частиц. Поэтому, очевидно, что ДОЭ, формирующие в области фокусировки световые линии с градиентом фазы (рис. 7), могут быть использованы для цели сортировки частиц. Дифракционная эффективность элемента, представленного на рис. 7 равна  $\approx 37\%$  ( $\pm 1$  порядки). Можно сформировать световой пучок, состоящий из нескольких таких линий разных размеров, что позволит одновременно сортировать несколько видов микрочастиц. При этом каждая из линий будет выделять из потока частицы, чей диаметр будет приблизительно равен поперечному размеру линии, а частицы с

меньшим диаметром будут продолжать движение по потоку.

В работе [1] были проведены эксперименты, доказывающие возможность использования таких амплитудно-фазовых распределений для захвата и выделения частиц полистирола диаметром 5 мкм из общего потока. Анализ результатов экспериментов, проведённых в этой работе, показал увеличение скорости перемещения частиц при увеличении порядка изменения фазы [17].

### Фильтрация отдельных частиц по размерам

В микробиологии и медицине есть задача фильтрации отдельных частиц по размерам, когда необходимо выделить из потока определённые микрочастицы, например, клетки, и разместить их в определённых точках, чтобы в дальнейшем производить с ними какие-либо операции.

Как было отмечено выше, для выделения отдельных частиц и их перемещения в заданное положение может быть использован элемент, формирующий световой пучок в виде креста с градиентом фазы вдоль образующих его лучей. Следовательно, для решения задачи фильтрации частиц может быть использовано световое поле в виде набора таких крестов. При этом желательно, чтобы этот набор крестов как можно больше перекрывал сече-

ния потока частиц, чтобы увеличить вероятность захвата частиц (рис. 8). Поэтому было решено рассчитать ДОЭ, формирующий в области фокусировки световое поле в виде набора соприкасающихся крестов, расположенных по диагонали (рис. 9). Дифракционная эффективность этого элемента равна  $\approx 98\%$  ( $\pm 1$  порядки).

Принцип действия такой фильтрации следующий. Частица, диаметр которой равен поперечному размеру луча, образующего крест, движется по потоку, сечение которого перекрывается сформированным световым пучком. При попадании в область пучка, частица втягивается в одну из линий, образующих крест, и под действием градиента фазы перемещается к центру креста, где и фиксируется.

Так как направление движения захваченной микрочастицы можно задавать не только градиентом фазы, но и градиентом интенсивности, то было решено рассчитать элемент, формирующий световое поле аналогичное рассмотренному выше, но у которого интенсивность не постоян-

на, а возрастает при движении к центру креста. Это может позволить дополнительно увеличить скорость перемещения частиц. Соответствующий элемент и теоретические и экспериментальные изображения приведены на рис. 10. Дифракционная эффективность этого элемента равна  $\approx 97\%$  ( $\pm 1$  порядки).

### Перемещение частиц по заданной траектории

Все представленные в настоящей работе элементы, можно также рассматривать как элементы, позволяющие перемещать частицу по прямым линиям. Но часто требуется перемещать частицы не только по прямым линиям.

Чтобы переместить частицу по заданной траектории, необходимо сформировать световой пучок, который имеет форму этой траектории с градиентом фазы вдоль неё. При этом, изменяя порядок фазы сформированного пучка, можно добиться изменения скорости перемещения частиц.

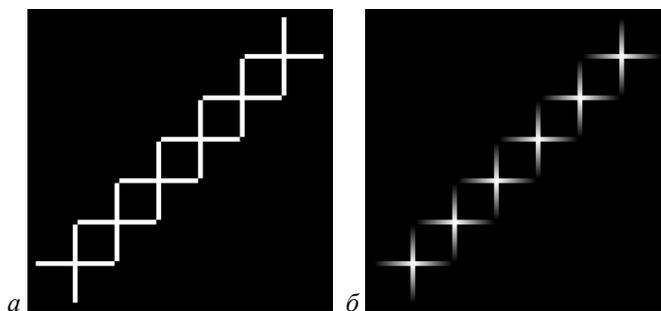


Рис. 8. Заданные интенсивность (а) и фаза (б) эталона для расчёта ДОЭ, формирующего световое поле в виде набора крестов, расположенных по диагонали, с максимумами фазы в их центрах.

При переходе от чёрного к белому фаза меняется на  $2\pi$

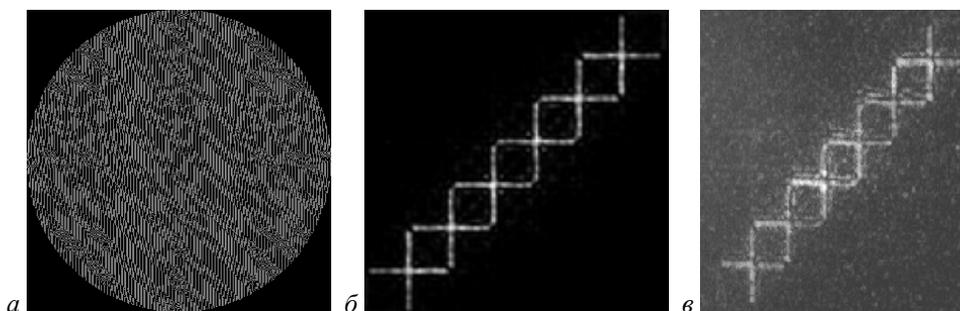


Рис. 9. Рассчитанное фазовое распределение (а), теоретический вид интенсивности (б), экспериментальный вид интенсивности (в), получаемые при освещении лазером ДОЭ, формирующего световое поле в виде набора крестов, расположенных по диагонали, с максимумами фазы в их центрах

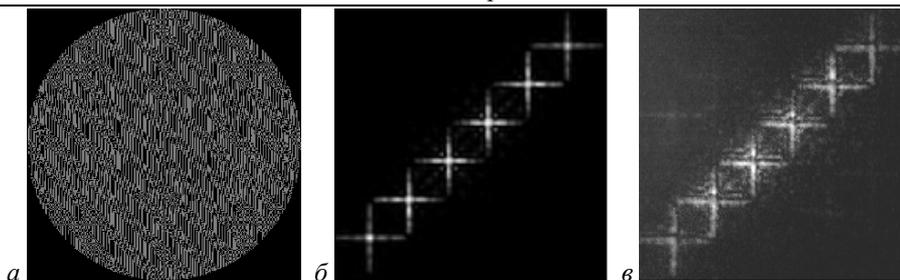


Рис. 10. Рассчитанное фазовое распределение (а), теоретический вид интенсивности (б), экспериментальный вид интенсивности (в), получаемые при освещении лазером ДОЭ, формирующего световое поле в виде набора крестов, расположенных по диагонали, с максимумами фазы в их центрах

В ряде случаев для проведения опытов по манипуляции микрообъектами требуется расчислить некоторую область от частиц, находящихся внутри неё. Для таких целей подходят амплитудно-фазовые распределения в виде областей произвольной формы (круг, квадрат и т.д), фаза которых возрастает при движении от центра к краевым участкам. Сформированный в некоторой области такой пучок будет воздействовать на частицы, разводя их по контуру заданной области. На рис. 11 приведены фазы элементов, теоретические и экспериментальные распределения интенсивности для случаев таких пучков, имеющих форму круга, креста и квадрата. Дифракционные эффективности для каждого из этих элементов равны приблизительно 98% ( $\pm 1$  порядки).

Для частиц, удалённых из центральной области пучка и расположенных по её контуру, можно задать дополнительное движение, например, вращение по окружности. Чтобы осуществить такое дополнительное перемещение, при расчёте надо задать комбинированную фазу: для внутренней области пучка фаза увеличивается при движении от центра к краю, а для краевой области (её контур) фаза изменяется при движении по периметру (как у вихревых пучков). Элемент, формирующий такую область в виде круга с такой комбинированной фазой, теоретические и экспериментальные распределения представлены на рис. 12. Дифракционная эффективность данного элемента равна  $\approx 98\%$  ( $\pm 1$  порядки).

## Заключение

В работе представлены результаты расчёта фокусирующих ДОЭ, формирующих световые пучки, которые могут быть использованы для решения задач сортировки микрочастиц по размеру, фильтрации отдельных микрочастиц, перемещения микрочастиц по заданным траекториям и позиционирования микрочастиц. Рассчитанные элементы, за исключением ряда случаев, обладают высокой дифракционной эффективностью. Представлены результаты экспериментов по формированию таких полей. Результаты работы представляют интерес для решения задачи сборки микросистем и ряда задач в области микробиологии и медицины.

## Библиографический список

1. **Скиданов, Р.В.** Оптическая микроманипуляция с использованием бинарных фокусаторов [Текст] / Р.В. Скиданов, А.П. Порфирьев // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 2. – С. 214-218.
2. **Marchington, R.F.** Optical deflection and sorting of microparticles in a near-field optical geometry [Text] / R.F. Marchington [et al.] // Optics Express. – 2008. – Vol. 16, N 6. – P. 3712-3726.
3. **Guo, C.-S.** Optical sorting using an array of optical vortices with fractional topological charge [Text] / C.-S. Guo, Y.-N. Yu, Z. Hong // Optics Communications. – 2010. – N 283. – P. 1889-1893.

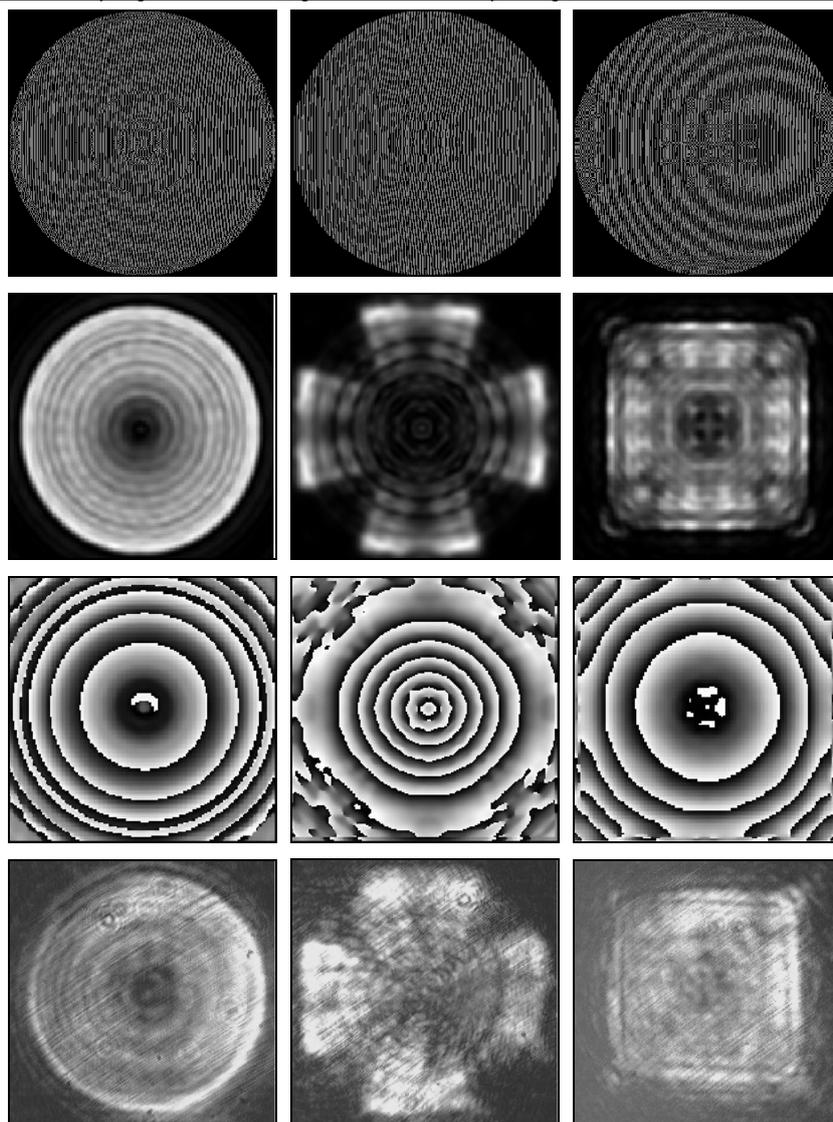


Рис. 11. Рассчитанные фазовые распределения (верхний ряд), теоретический вид интенсивности и фазы формируемого пучка (средний ряд), результаты эксперимента с использованием бинарного модулятора света (нижний ряд), получаемые при освещении лазером ДОЭ, формирующего световое поле в виде круга с линейным возрастанием фазы при движении по радиусу от центра (левая колонка), ДОЭ, формирующего световое поле в виде креста с линейным возрастанием фазы при движении по радиусу от центра (центральная колонка), ДОЭ, формирующего световое поле в виде квадрата с линейным возрастанием фазы при движении по радиусу от центра (правая колонка)

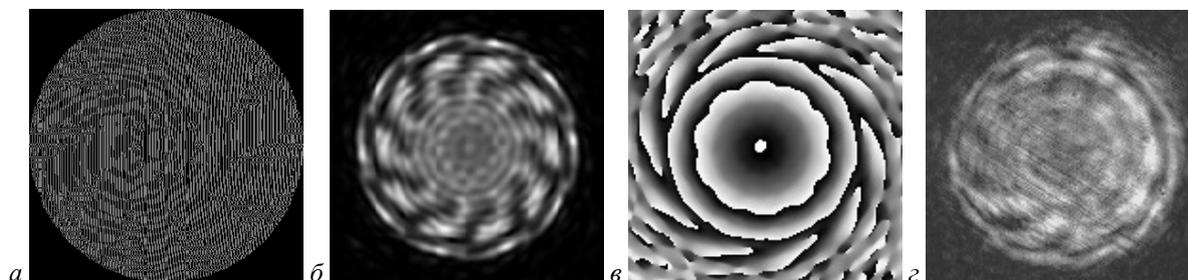


Рис. 12. Рассчитанное фазовое распределение (а), теоретический вид интенсивности (б), теоретический вид фазы (в), экспериментальный вид интенсивности (г) получаемые при освещении ДОЭ, формирующего световое поле в виде круга с линейным возрастанием фазы при движении по радиусу от центра и линейным изменением фазы по контуру круга

4. **Абрамочкин, Е.Г.** Формирование вихревых световых полей с заданной формой интенсивности для задач лазерной манипуляции микрообъектами [Текст] / Е.Г. Абрамочкин. – Материалы XXVI школы по когерентной оптике и голографии «Голография: фундаментальные исследования, инновационные проекты и нанотехнологии». – Иркутск: Папирус, 2008. – С. 203-207.
5. **Скиданов, Р.В.** Оптическая микроманипуляция с использованием бинарного динамического модулятора света [Текст] / Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, В.В. Котляр // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 4. – С. 361-365.
6. **Thompson, J.A.** Automating Microassembly with Ortho-tweezers and Force Sensing [Text] / J.A. Thompson, R.S. Fearing. – Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Maui, HI, 2001. – P. 1327-1334.
7. **Скиданов, Р.В.** Оптическая микроманипуляция с использованием микровзрывов частиц полистирола [Текст] / Р.В. Скиданов, А.А. Морозов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 3. – С. 302-307.
8. **Хонина, С.Н.** Формирование лазерных пучков Эйри с помощью бинарно-кодированных дифракционных оптических элементов для манипулирования микрочастицами [Текст] / С.Н. Хонина, Р.В. Скиданов, О.Ю. Моисеев // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 2. – С. 138-146.
9. **Налимов, А.Г.** Оптический захват диэлектрического цилиндра вблизи фокуса разных световых пучков [Текст] / А.Г. Налимов, В.В. Котляр // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 22-28.
10. **Ashkin, A.** Acceleration and trapping of particles by radiation pressure [Text] / A. Ashkin // Phys. Rev. Lett. – 1970. – Vol. 24, N 4. – P. 156-159.
11. **Котляр, В.В.** Некоторые типы гипергеометрических лазерных пучков для оптического микроманипулирования [Текст] / В.В. Котляр, А.А. Ковалёв, Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 2. – С. 180-186.
12. **Скиданов, Р.В.** Расчёт силы, действующей на сферический микрообъект в гипергеометрических пучках [Текст] / Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, А.А. Морозов, В.В. Котляр // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 1. – С. 39-42.
13. **Скиданов, Р.В.** Экспериментальное исследование движения диэлектрических шариков в световых пучках с угловыми гармониками высоких порядков [Текст] / Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, В.В. Котляр, В.А. Сойфер // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 1. – С. 14-21.
14. **Скиданов, Р.В.** Самовоспроизводящиеся лазерные пучки и их применение [Текст] / Р.В. Скиданов // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 4-23.
15. **Сойфер, В.А.** Вращение микрочастиц в световых полях [Текст] / В.А. Сойфер, В.В. Котляр, С.Н. Хонина, Р.В. Скиданов // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 6-17.
16. **Котляр, В.В.** Кодирование дифракционных оптических элементов методом локального фазового скачка [Текст] / В.В. Котляр, С.Н. Хонина, А.С. Мелехин, В.А. Сойфер // Компьютерная оптика. – 1999. – Вып. 19. – С. 54-64.
17. **Порфирьев, А.П.** ДОЭ для автоматической оптической сборки микросистем [Текст] / А.П. Порфирьев. – Перспективные информационные технологии для авиации и космоса (ПИТ-2010). Труды Международной конференции с элементами научной школы для молодёжи – Самара: 2010. – С. 934-938.

### References

1. **Skidanov, R.V.** Optical micromanipulation with using binary focusator [Text] / R.V. Skidanov, A.P. Porfir'ev // Computer Optics. – 2010. – Vol. 34(2). – P. 214-218. – [in Russian].

2. **Marchington, R.F.** Optical deflection and sorting of microparticles in a near-field optical geometry [Text] / R.F. Marchington [et al.] // *Optics Express*. – 2008. – Vol. 16, N 6. – P. 3712-3726.
3. **Guo, C.-S.** Optical sorting using an array of optical vortices with fractional topological charge [Text] / C.-S. Guo, Y.-N. Yu, Z. Hong // *Optics Communications*. – 2010. – N 283. – P. 1889-1893.
4. **Abramochkin, E.G.** Forming of Helical-wave-front laser beams by light with given by form to intensities for problems of the lazer manipulate microobjects [Text] / E.G. Abramochkin – *Materials XXVI schools on coherent optics and holographies "Holography: fundamental research, innovative projects and nanotechnologies"* – Irkutsk: "Papyrus" Publisher, 2008. – P. 203-207. – [in Russian].
5. **Skidanov, R.V.** Optical micromanipulation with using binary spatial light modulator [Text] / R.V. Skidanov, S.N. Khonina, V.V. Kotlyar // *Computer Optics*. – 2008. – Vol. 32, N 4. – P. 361-365. – [in Russian].
6. **Thompson, J.A.** Automating Microassembly with Ortho-tweezers and Force Sensing [Text] / J.A. Thompson, R.S. Fearing // *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Maui, HI, 2001. – P. 1327-1334.
7. **Skidanov, R.V.** Optical micromanipulation wich employment of microblasts of microparticles of polystyrole [Text] / R.V. Skidanov, A.A. Morozov // *Computer Optics*. – 2010. – Vol. 34, N 3. – P. 302-307. – [in Russian].
8. **Khonina, S.N.** Airy laser beams generation by binary-coded diffractive optical elements for microparticles manipulation [Text] / S.N. Khonina, R.V. Skidanov, O.Y. Moiseev // *Computer Optics*. – 2009. – Vol. 33, N 2. – P. 138-146. – [in Russian].
9. **Nalimov, A.G.** Optical trapping dielectric cylinders near the focus of different light beams / A.G. Nalimov, V.V. Kotlyar // *Computer Optics*. – 2005. – N 28. – P. 22-28. – [in Russian].
10. **Ashkin, A.** Acceleration and trapping of particles by radiation pressure [Text] / A. Ashkin // *Phys. Rev. Lett.* – 1970. – Vol. 24, N 4. – P. 156-159.
11. **Kotlyar, V.V.** Particular cases of hypergeometric laser beams in optical micro-manipulation [Text] / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, R.V. Skidanov, S.N. Khonina // *Computer Optics*. – 2008. – Vol. 32, N 2. – P. 180-186. – [in Russian].
12. **Skidanov, R.V.** Calculating forces acting upon a spherical microobject in the Hyper-Geometric Beams [Text] / R.V. Skidanov, S.N. Khonina, A.A. Morozov, V.V. Kotlyar // *Computer Optics*. – 2008. – Vol. 32, N 1. – P. 39-42. – [in Russian].
13. **Skidanov, R.V.** Experimental analysis of the motion of dielectric spheres in the light beams with angular high-order harmonics [Text] / R.V. Skidanov, S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer // *Computer Optics*. – 2007. – Vol. 31, N 1. – P. 14-21. – [in Russian].
14. **Skidanov, R.V.** Self-reproducing laser beams and their application [Text] / R.V. Skidanov // *Computer Optics*. – 2006. – No. 29. – P. 4-23. – [in Russian].
15. **Soifer, V.A.** Rotation of microparticles in light fields [Text] / V.A. Soifer, V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, R.V. Skidanov // *Computer Optics*. – 2005. – No. 28. – P. 6-17. – [in Russian].
16. **Kotlyar, V.V.** Encoding diffractive optical elements using local phase jump [Text] / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, A.S. Melechin, V.A. Soifer // *Computer Optics*. – 1999. – Vol. 19, N 9. – P. 54-64. – [in Russian].
17. **Porfir'ev, A.P.** DOE for automatic optical assembly microsystems [Text] / A.P. Porfir'ev. – *Advanced information technology for aviation and space (AIT-2010). Proceedings of the International Conference with the elements of the scientific school for youth*. – Samara: 2010. – P. 934-938. – [in Russian].

## DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS FOR AUTOMATIC OPTICAL ASSEMBLY MICROSYSTEMS

© 2010 A.P. Porfir'ev

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

We discuss results of calculation focusing diffractive optical elements (DOEs). This elements generate light beams that have predetermined amplitude-phase distribution which can be used for assemblage of microsystems. Results of experiments on formation of such light fields by means of the binary spatial modulator are presented.

*Microparticle Filtering, Sorting microparticles, microparticles positioning, movement of microparticles, focusator, optical trapping.*

### Информация об авторах

**Порфирьев Алексей Петрович**, аспирант. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: дифракционная оптика, оптическая микроманипуляция. E-mail: [lporfir'ev@rambler.ru](mailto:lporfir'ev@rambler.ru).

**Porfir'ev, Aleksey Petrovich**, post-graduate student. Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area of research: diffractive optics, optical micromanipulation. E-mail: [lporfir'ev@rambler.ru](mailto:lporfir'ev@rambler.ru).