

Конфигурируемые вихревые лазерные пучки для оптического манипулирования ансамблями микрочастиц

Д.А. Иконников¹, С.А. Вьюнышева¹, Н.Н. Давлетишин^{1,2}, Д.В. Прокопова³, Н.Н. Лосевский³,
С.А. Самагин³, С.П. Котова³, А.М. Вьюнышев^{1,2}

¹Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

³Самарский филиал ФИАН, Самара, Россия

В работе рассмотрено формирование фазовых голограмм методом суперпозиции модуляций для получения вихревых лазерных пучков. Полученные лазерные пучки применены в схеме оптического пинцета для захвата и манипулирования ансамблями микрочастиц. Продемонстрирована возможность независимого управления положением вихревых лазерных пучков и их орбитальным угловым моментом. Полученные результаты открывают новые возможности для оптических манипуляций в приложениях биофотоники.

Ключевые слова: Оптическое манипулирование, Оптотермическая ловушка, Вихревой лазерный пучок, Суперпозиция модуляций, Микросферы латекса.

Изобретение оптического пинцета [1] определило значительный прогресс в области микроманипуляций и детектировании одиночных молекул. На сегодняшний день оптический пинцет широко применяется в различных областях науки, включая физические [2] и химические [3] науки, но наиболее полно технология оптического пинцета была реализована в биомедицинских приложениях ввиду неинвазивности метода [4]. Однако особый интерес представляют комбинированные оптотермические ловушки, в которых лазерное излучение используется не только как источник сил светового давления, но и для формирования градиента температур в жидкой среде. Применение структурированного света в схеме оптотермической ловушки расширяет существующий арсенал методов оптических манипуляций вследствие возможности контроля ряда параметров вихревых лазерных пучков.

В настоящем докладе сообщаются результаты по синтезу голограмм для получения набора вихревых лазерных пучков с заданным положением и величиной орбитального углового момента. Для синтеза голограмм использовался метод суперпозиции модуляций, преимуществом которого является простота использования и возможность расчета требуемых голограмм без привлечения итерационных численных методов. На Рис. 1 приведен пример синтезируемой голограммы и измеренное распределение интенсивности в плоскости оптотермической ловушки. Из рисунка видно, что используемый подход позволяет формировать набор вихревых лазерных пучков. Численные расчеты показывают, что величины топологических зарядов (ТЗ) рассматриваемых пучков хорошо согласуются со значениями ТЗ, задаваемых на этапе проектирования голограмм.

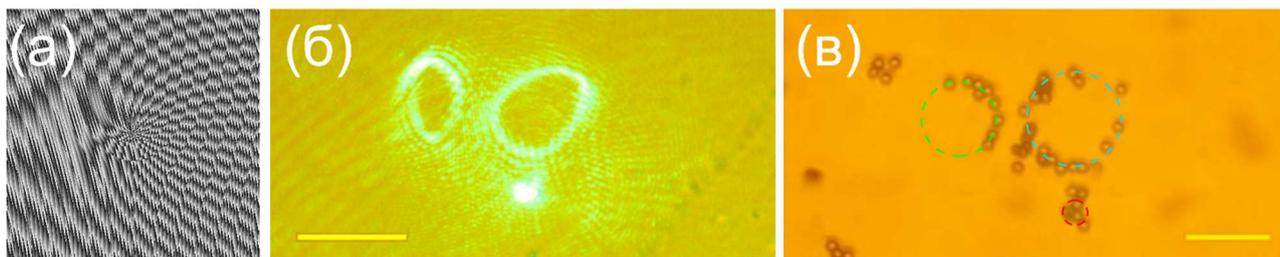


Рис. 1. Синтезированная фазовая голограмма (черный – 0, белый – 2π) (а), вихревые пучки в плоскости оптотермической ловушки (б) и демонстрация оптического захвата микросфер латекса вихревыми пучками (в)

В эксперименте по оптическому манипулированию использовались латексные микрочастицы с диаметром 2 мкм. В режиме нагрева лазерным излучением под действием

конвективных потоков микросферы устремлялись в область оптического пинцета и образовывали кольцевые пространственные конфигурации, как показано на Рис. 1. По мере изменения фазовых голограмм менялось и положение одного из вихревых лазерных пучков, что приводило к смещению ансамбля микросфер. В динамике наблюдалось орбитальное движение микрочастиц по часовой стрелке.

Таким образом, показана возможность синтеза фазовых голограмм методом суперпозиции модуляций для получения вихревых лазерных пучков и их использования в схеме оптотермической ловушки. Полученные результаты представляют интерес для развития технологий нано- и микроманипуляций в биомедицинских приложениях.

Список источников

- [1] **Ashkin A**, Acceleration and trapping of particles by radiation pressure. *Physical Review Letters* 1970; 24: 156-159.
- [2] **Blums V**, Piotrowski M, Hussain MI, Norton BG, Connell SC, Gensemer S, Lobino M, Streed EW, A single-atom 3D sub-attonewton force sensor. *Science Advances* 2018; 4(3).
- [3] **Liu LR**, Hood JD, Yu Y, Zhang JT, Hutzler NR, Rosenband T, Ni KK, Building one molecule from a reservoir of two atoms. *Science* 2018; 360(6391): 900-903.
- [4] **Ashkin A**, Dziedzic JM, *Optical Trapping and Manipulation of Viruses and Bacteria*. *Science* 1987; 235(4795): 1517-1520.

Configurable vortex laser beams for optical manipulations of microparticle ensembles

D.A. Ikonnikov¹, S.A. Vyunisheva¹, N.N. Davletshin^{1,2}, D.V. Prokopova³, N.N. Losevsky³, S.A. Samagin³, S.P. Kotova³, A.M. Vyunishev^{1,2}

¹Kirensky Institute of Physics, FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

³Lebedev Physical Institute, Samara, Russia

Annotation

The paper considers the formation of phase holograms by the method of superposition of modulations to obtain vortex laser beams. The resulting laser beams are used in the scheme of optical tweezers for trapping and manipulating microparticle ensembles. The possibility of independent control of the position of vortex laser beams and their orbital angular momentum is demonstrated. The results obtained open up new possibilities for optical manipulations in biophotonic applications.

Keywords: Optical manipulation, Optothermal trap, Vortex laser beam, Modulation superposition, Latex microspheres