

Использование вихревых пучков для формирования микроструктур из объектов сферической формы в задачах биологического манипулирования

А.В. Михеев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, ул. Московское шоссе, 34, Самара, Россия

Аннотация

Рассмотрены лазерные пучки для формирования конфигурации микрообъектов сферической формы, формируемые вихревыми аксиконами. Предложен набор световых полей для формирования конфигурации микрообъектов для микрозахвата и удержания биологических микрообъектов. Рассчитаны распределения сил, действующих на сферический микрообъект в световых полях.

Ключевые слова: биологический микрообъект; оптический пинцет; лазерные пучки; микроманипулирование; микроструктура

1. Введение

Возможность манипулирования отдельными биологическими микрообъектами используется в широком спектре задач биохимии и молекулярной биологии. К основным задачам, решаемым при помощи методов манипулирования можно отнести: бесконтактное перемещение, позиционирование и сортировку клеток. Существует три основные технологии [1], позволяющие осуществлять манипулирование микрообъектами: атомно-силовая микроскопия, оптический и магнитный пинцет. В силу своих технических характеристик, использование оптического пинцета является наиболее подходящим для задач трёхмерного манипулирования биологических клеток. Основным недостатком данной технологии является эффект оптического повреждения манипулируемого биологического объекта.

Для решения этой проблемы были предложены [2,3] методы, использующие лазерные пучки специальной формы, которые позволяют уменьшить степень оптического повреждения клетки путём перераспределения интенсивности излучения из центральной области на периферию. Другим возможным решением этой проблемы является использование полистироловых шариков, которые прикрепляются к поверхности клетки и подвергаются непосредственному манипулированию. Естественным недостатком такого подхода является проблема прикрепления шарика к клетке.

В связи с этим, возникает интерес в дальнейшем исследовании лазерных пучков специальной формы, распределения интенсивности которых, формируют силовые поля, структуру которых можно использовать для захвата и манипуляции различных микрообъектов.

2. Манипулирование биологическими объектами при помощи микроструктур

Для решения проблемы оптического повреждения, предлагается использовать лазерные пучки, силовые поля которых позволяют формировать структуры различной формы из полистироловых шариков. Использование таких структур для манипуляции биологическими объектами позволяет одновременно уменьшить степень оптического повреждения и решить проблемы связанные с прикреплением полистироловых шариков к поверхности клетки.

В качестве исследуемых световых пучков, предлагается использовать пучки [4] формируемые вихревыми аксиконами. С их помощью возможно сформировать суперпозицию вихревых пучков с разными топологическими зарядами, что позволяет получить практически любое распределение интенсивности. Это свойство делает такие пучки привлекательными для использования в задачах оптического манипулирования.

Для теоретического исследования возможности использования лазерных пучков для формирования микроструктур из сферических частиц необходимо получить двумерное распределение силы, действующей в световом поле на сферическую частицу. Известно [5], что пренебрегая эффектами рассеивания, для расчета силовых полей можно воспользоваться формулами расчета градиентных сил [6,7], в рамках которого вектор силы действия луча на микрочастицу пропорционален градиенту интенсивности пучка. Таким образом, для расчета значения вектора силы в заданной точке по заданному распределению интенсивности нужно найти градиент интенсивности в области покрытия объектом светового поля и просуммировать его по сечению.

3. Результаты

В качестве примеров рассмотрим распределения интенсивностей и формируемые ими силовые поля на сферические объекты разных радиусов:

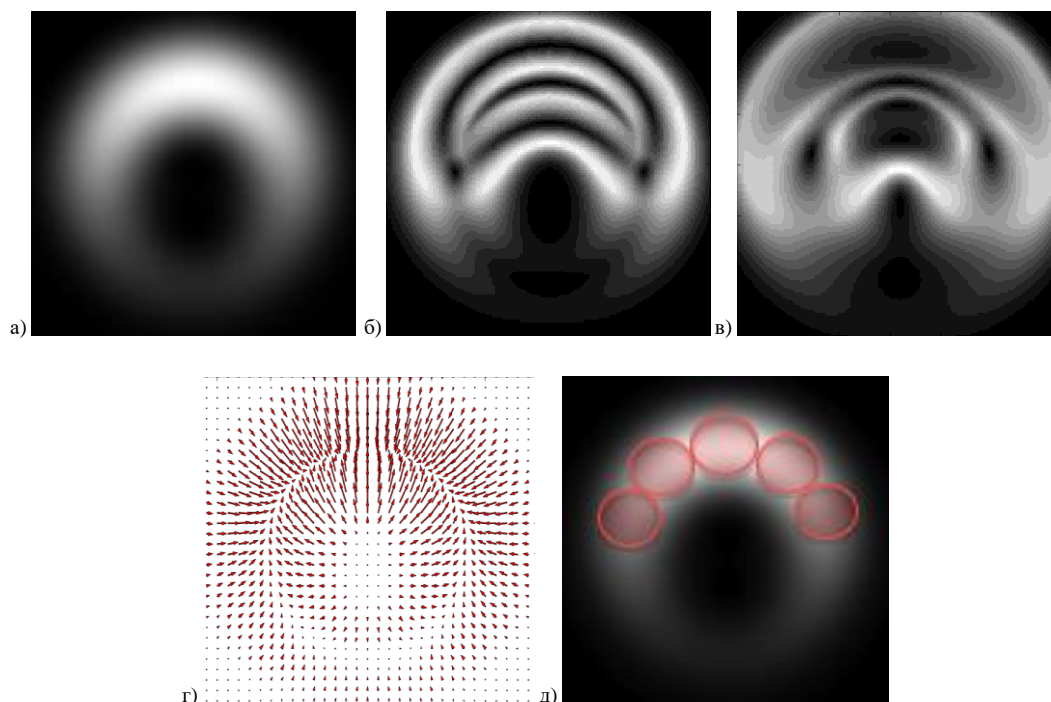


Рис. 1. а) Исходное распределение; б) Распределение силы на сферический объект радиуса 10 пикселей; в) Распределение силы на сферический объект радиуса 20 пикселей; г) Градиент интенсивности; д) Пример возможной конфигурации частиц.

Исходя из формы распределения интенсивности (рис. 1.А) и распределения силы (рис. 1.Б-В), действующей на сферический микрообъект, формируется конфигурация (рис 1.Д) из нескольких микрообъектов в форме полумесяца, которая позволяет передвигать биологический микрообъект в одном направлении.

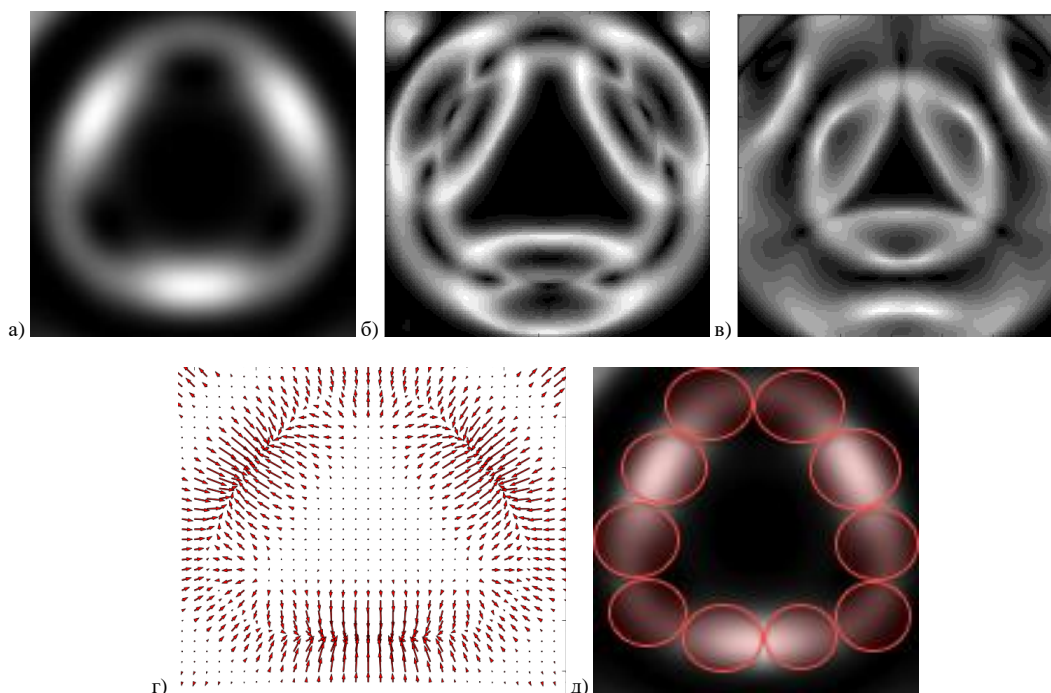


Рис. 2. а) Исходное распределение; б) Распределение силы на сферический объект радиуса 10 пикселей; в) Распределение силы на сферический объект радиуса 20 пикселей; г) Градиент интенсивности; д) Пример возможной конфигурации частиц.

Исходя из формы распределения интенсивности (рис. 2.А) и распределения силы (рис. 2.Б-В), действующей на сферический микрообъект, формируется конфигурация (рис 2.Д) из нескольких микрообъектов в форме пояса, которая позволяет захватывать передвигать биологический микрообъект в плоскости.

Исходя из формы распределения интенсивности (рис. 3.А) и распределения силы (рис. 3.Б-В), действующей на сферический микрообъект, формируется конфигурация (рис. 3.Д) из нескольких микрообъектов в форме двух пластин, которая позволяет передвигать биологический микрообъект в одном направлении.

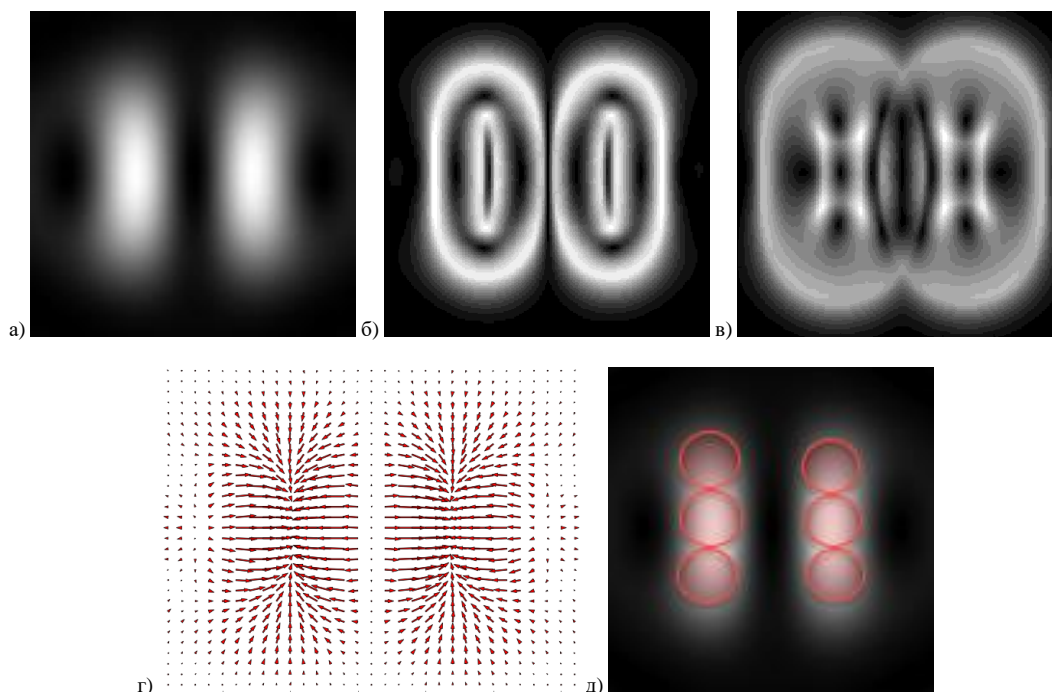


Рис. 3. а) Исходное распределение; б) Распределение силы на сферический объект радиуса 10 пикселей; в) Распределение силы на сферический объект радиуса 20 пикселей; г) Градиент интенсивности; д) Пример возможной конфигурации частиц.

4. Заключение

В работе предложен метод формирования конфигураций микрочастиц для захвата биологических микрообъектов для решения проблемы оптического повреждения биологического объекта. Рассчитаны распределения сил, действующих на сферический микрообъект в световых полях, сформированных вихревыми аксиконами. Подобраны световые поля для оптимального двумерного захвата биологических микрообъектов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №16-47-630677 p_a).

Литература

- [1] Neuman, K.C. Single-molecule force spectroscopy: optical tweezers, magnetic tweezers and atomic force spectroscopy / K.C. Neuman, A. Nagy // *Nature Methods*. – 2008. – Vol.5(6). – P. 491–505. DOI: 10.1038/nmeth.1218
- [2] Скиданов, Р.В. Суперпозиция вихревых световых пучков для захвата и перемещения биологических объектов / Р.В. Скиданов, М.А. Рыков // *Компьютерная оптика*. – 2013. – Т. 37, № 4. – С. 431–435.
- [3] Rykov, M.A. Modifying the laser beam intensity distribution for obtaining improved strength characteristics of an optical trap / M.A. Rykov, R.V. Skidanov // *Applied Optics*. – 2014. – Vol. 53(2). – P. 156–164.
- [4] Скиданов, Р.В. Дифракционные оптические элементы для формирования комбинаций вихревых пучков в задаче манипулирования микрообъектами / Р.В. Скиданов, С.В. Ганчевская // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 65–71.
- [5] Скиданов, Р.В. Расчет взаимодействия светового пучка с микрочастицами произвольной формы / Р.В. Скиданов // *Компьютерная оптика*. – 2013. – Т. 28. – С. 18–21.
- [6] Соيفер, В.А. Оптическое манипулирование микрообъектами: достижения и новые возможности, порождённые дифракционной оптикой / В.А. Соифер, В.В. Котляр, С.Н. Хонина // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. – 2004. – Т. 35, № 6. – С. 1368–1432.
- [7] Askaryan, G.A. Effects of the gradient of a strong electromagnetic beam on electrons and atoms / G.A. Askaryan // *Sov. Phys. JETP*. – 1962. – Vol. 15. – P. 1088–1090.