

Национальная Академия наук Украины
Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины
Институт физики полупроводников НАН Украины им. В.Е. Лашкарева
ПАО «НПК «Наука»
Харьковский национальный университет радиозлектроники

Сборник научных трудов
V Международной научной конференции

«ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БАЗА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

30 сентября - 5 октября 2012г.

Харьков - Кацевели
2012

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА МИКРООБЪЕКТОВ

Меркулов Е.Г., Мачехин Ю.П.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. ФОЭТ, тел. (057) 702-14-84
E-mail: merkulov_e@yahoo.com

Optical tweezers is a modern tool for manipulation of nano- and micro- objects. This article reviews the development of the trap-system, motion system and visualization system of optical tweezers.

В современном мире нанотехнологий сложно представить себе процесс исследования и производства без использования инструментов манипуляции объектами, размеры которых составляют микро- и нанометры. Очередным этапом развития таких инструментов является бесконтактный метод манипуляции. Его достоинства очевидны, а само применение метода значительно расширяет границы областей, использующих манипулирование микрообъектами в процессах своей деятельности. Данный метод позволяет осуществлять манипулирование частицами в таких немаловажных областях как биология и медицина, где предъявляются особые требования, не допускающие возможность повреждения исследуемого микрообъекта.

Наиболее перспективным в таких областях является инструмент, работа которого основана на силах, с которыми электромагнитное излучение оптического диапазона, действует на частицу, захваченную в оптическую ловушку.

В данной работе описываются этапы разработки и создания лазерного манипулятора наночастицами.

Функционально лазерный манипулятор можно разделить на три составляющие: система захвата частицы, система перемещения частицы и система визуализации процесса захвата и перемещения.

Система захвата и удержания микрообъектов. С целью разработки системы захвата и удержания микрообъектов лазерного пинцета был проведен ряд экспериментов, направленных на изучение свойств сфокусированного излучения лазерных источников.

Исходя из теории взаимодействия высоко сфокусированного лазерного излучения с микро- и нанообъектами, сила воздействия этого излучения на частицу прямопропорционально зависит от величины градиента мощности излучения в поперечном сечении лазерного пучка, как показано в формуле (1).

$$F = \frac{1}{2} \alpha \cdot \nabla E^2. \quad (1)$$

Основываясь на этих данных можно сделать вывод, что для выполнения поставленной задачи по захвату и удержанию микрообъекта в оптической ловушке в первую очередь требуется качественно изучить распределение мощности в поперечном сечении пучка.

Для выполнения этой задачи была разработана и создана экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 1.

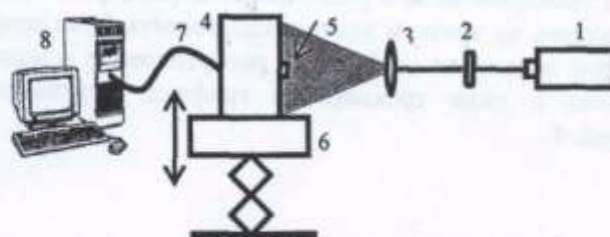


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой конструкцию, в которой излучение лазера 1, проходит через светофильтр 2 и рассеивается на линзе 3, рассеянное излучение частично попадает на ПЗС-линейку, как показано на рис. 2. Устройство ПЗС-линейки 4 закреплено на координатном столике 6, который позволяет перемещать ПЗС-линейку в трех направлениях. Также устройство с ПЗС-линейкой подключено к ПК, на котором в режиме реального времени отображается график интенсивности излучения, попавшего на каждый элемент ПЗС-линейки.

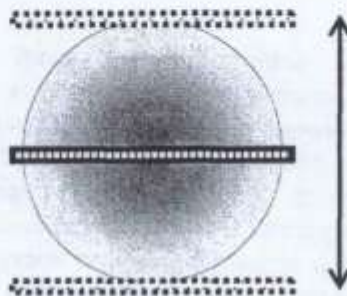
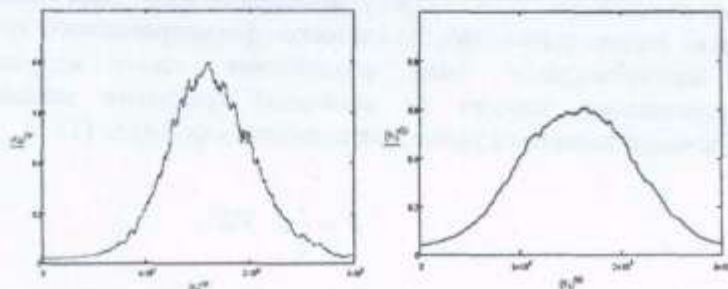


Рисунок 2 – Излучение лазера, попадающее на ПЗС – линейку

В качестве лазеров были испытаны два твердотельных лазера с диодной накачкой с длинами волн 440 нм и 532 нм.

Разработку экспериментальной установки, а также проведение экспериментов, условно можно разделить на несколько этапов.

На первом этапе была собрана экспериментальная установка по схеме, показанной на рис. 1. На втором этапе, путем сканирования ПЗС-линейки по сечению лазерного луча, был снят ряд графиков, представляющих собой зависимость интенсивности от номера пикселя в линейке. Пример таких графиков представлен на рис. 3.



а) для лазера с длиной волны $\lambda = 473 \text{ нм}$;

а) для лазера с длиной волны $\lambda = 532 \text{ нм}$.

Рисунок 3 – Графики зависимости мощности лазерного излучения от номера пикселя ПЗС-линейки

В ходе выполнения эксперимента было получено большое количество графиков (как на рис. 3) для экспериментов с различными параметрами. Для проведения анализа полученных результатов на третьем этапе эксперимента было разработано программное обеспечение, которое позволяет отображать распределение мощности лазерного луча в поперечном сечении в виде трехмерного графика. Результаты таких построений представлены на рис. 4.

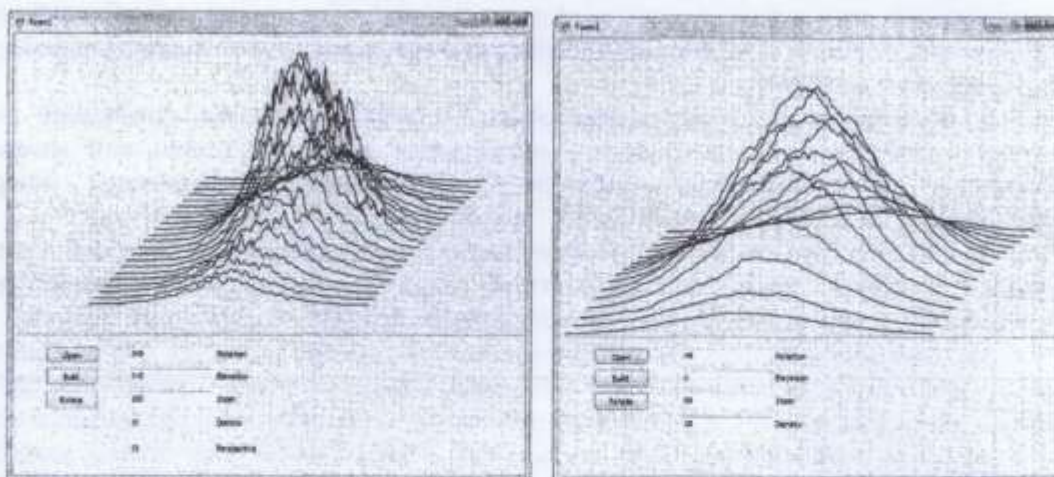


Рисунок 4 – Трехмерные графики распределения мощности лазерного излучения в поперечном сечении луча

По итогам проведенных экспериментов, можно сделать вывод, что полученные результаты свидетельствуют о том, что изученные лазеры с длинами волн 473 нм и 532 нм обладают распределением профиля интенсивности близкому к распределению Гаусса. Также, исходя из полученных трехмерных графиков распределения мощности лазерного излучения в поперечном сечении луча, можно сделать вывод что лазерный источник с длиной волны 473 нм обладает большим градиентом мощности в поперечном сечении, чем источник с длиной волны 532 нм.

Последующий эксперимент был направлен на изучение физических размеров формируемой перетяжки, что также немаловажно. Актуальность проведения данного эксперимента обусловлена тем, что физические размеры перетяжки определяют тот минимальный размер частицы, при котором она может быть захвачена.

Для проведения эксперимента была разработана и создана экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 5.



Рисунок 5 – Экспериментальная установка

Согласно схеме на рис. 5 излучение лазера 1 фокусируется с помощью объектива 2 и проходя через светофильтр 3 и микрообъектив 4 попадает на ПЗС-матрицу 5.

Суть эксперимента заключается в подстановке в экспериментальную установку различных объективов и регистрации распределения мощности лазерного излучения в поперечном сечении пучка с помощью ПЗС-матрицы, на ПК.

Таким образом, в ходе проведения эксперимента были изучены свойства перетяжек, формируемых различными объективами.

По итогам проведенного эксперимента была выбрана схема объектива, при использовании которой получается наименьшая перетяжка, а также установлен предел минимальной частицы, которая может быть захвачена с помощью данного объектива. Минимальный размер частицы оказался равным 1 мкм.

Система перемещения микрообъектов. Существует несколько очевидных способов перемещения частички относительно предметного столика:

- перемещение частички;
- перемещение предметного столика.

Первый способ заключается в захвате частицы и перемещении ее путем сканирования луча относительно неподвижного предметного столика. Второй способ заключается в захвате и удержании частицы, в то время как осуществляется перемещение предметного столика.

Реализация первого метода заключается в разработке такой оптической схемы, которая позволит нам осуществлять перемещение выходной линзы или мениска в плоскости перпендикулярной оптической оси системы фокусировки лазерного излучения.

Реализация второго метода заключается в разработке механической системы, которая позволит перемещать предметный столик в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы фокусировки лазерного излучения с требуемой точностью.

Из двух методов был выбран второй, так как он обеспечивает все необходимые требования с более простой схемой реализации. Исходя из этого – разработка системы перемещения частички заключается в разработке двухкоординатного предметного стола.

Система визуализации. Для достижения цели создания целостного устройства манипуляции микрообъектов, необходимо разработать и создать систему, которая будет позволять детектировать и различать микрообъекты размерами от 1 мкм и более. Разработанная схема представлена на рис. 6.

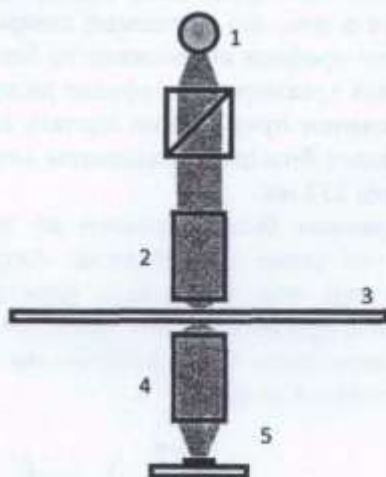


Рисунок 6 - Система визуализации оптического пинцета

Как видно из рисунка 6, свет от источника освещения 1, проходит через оптику лазера 2, фокусируется на предметное стекло 3 и, проходя через объектив 4, фокусируется на КМОП-матрице 5. Использование КМОП-матрицы позволяет реализовать цифровую регистрацию процесса захвата и перемещения микрочастиц.

В данной работе было рассмотрено перспективное направление лазерной оптики — оптическое манипулирование микрочастицами. Объект манипуляции может иметь различную природу: коллоидная частица, молекула, атом, клетка, вирус, деталь микромеханизма и др. Детальное описание взаимодействия излучения с микрообъектом возможно в рамках квантовой или классической электродинамики. В работе рассмотрена разработка основных узлов оптического пинцета. Подробно рассмотрена разработка системы визуализации, системы захвата микрочастиц и система их перемещения.

Список литературы:

1. Ghislain L. P., Webb W. W. Scanning-force microscope based on an optical trap // Opt. Lett.