

## СОСТАВНОЙ СВЕТОВОЙ ПУЧОК И МИКРОВЗРЫВЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОМАНИПУЛЯЦИИ

Скиданов Р.В., Морозов А.А., Порфирьев А.П.

Институт систем обработки изображений РАН,

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

### Аннотация

Описан метод перемещения относительно крупных микрообъектов путём использования энергии микровзрывов полистироловых микрочастиц в ультрафиолетовом световом пучке с длиной волны 355 нм. Предварительное позиционирование полистироловой микрочастицы осуществлялось лазерным пучком с длиной волны 532 нм, который распространялся в том же направлении, что и ультрафиолетовый пучок. Представлен эксперимент по управляемому перемещению биологического микрообъекта диаметром 30 мкм.

**Ключевые слова:** оптический захват, полистироловые микрочастицы, составной световой пучок, ультрафиолетовый лазер, микровзрыв.

### Введение

В настоящее время бурно развивается направление в оптике, посвящённое перемещению микрообъектов в когерентных пучках [1–7]. При этом инструментарий оптического микроманипулирования прошёл путь от простейших экспериментов по оптическому захвату [1, 2] до весьма сложных систем для управления движением микрочастиц с помощью световых пучков [3–5], в том числе систем, использующих в своей основе пространственные модуляторы света [4]. Есть также множество работ, посвящённых использованию специальных пучков для перемещения или вращения микрообъектов [6–13]. Возникающие при преломлении на прозрачном микрообъекте светового пучка градиентные силы удерживают микрообъект в области высокой интенсивности, что позволяет перемещать его, изменяя положение пучка [1, 2]. Или микрообъект перемещается в пучке сам за счёт наклона волнового фронта [6, 8–13]. Характерный размер перемещаемых микрообъектов – от долей микрометра до десятка микрометров. При этом с увеличением размеров микрообъекта необходимо существенно повышать мощность светового пучка. Так как какая-то малая часть энергии светового пучка в любом случае поглощается в микрообъекте, то существует некоторый предел для размеров микрочастиц, которые могут быть перемещены за счёт сил оптического захвата. Точное значение такого размера зависит от многих параметров: коэффициента поглощения микрообъекта, свойств жидкости, формы поверхности микрообъекта и т.д. Но примерная оценка такого размера для сферических прозрачных микрообъектов даёт значение около 30 мкм. Следует заметить, что микрообъект с размером, близким к предельному, испытывает сильнейшее термическое воздействие. Ещё хуже обстоят дела с перемещением в световых ловушках для непрозрачных микрообъектов. Предельный размер уменьшается в полтора-два раза. В то же время микрообъекты размером до 100 мкм всё ещё довольно малы для механического перемещения. Существует довольно сложный способ комбинированного, с помощью света и ультразвука, захвата таких микрообъектов [14]. В [15] описан более простой метод

перемещения таких микрообъектов за счёт микровзрывов полистироловых микрочастиц в пучке ультрафиолетового лазера с длиной волны 355 нм. К сожалению, у предложенного метода есть существенный недостаток: для перемещения конкретного микрообъекта в заданном направлении необходимо, чтобы точно в противоположном от микрообъекта направлении располагалась полистироловая микрочастица, что бывает не всегда. Предлагается использовать составной световой пучок, который сведён из двух пучков – зелёного с длиной волны 532 нм и ультрафиолетового с длиной волны 355 нм. В этом случае зелёный пучок осуществляет доставку полистироловых микрочастиц в нужную точку, а ультрафиолетовый взрывает микрочастицу. Следует заметить, что процессы, проходящие при воздействии на микрочастицу сфокусированного ультрафиолетового излучения, совершенно не изучены. Существует лишь несколько исследовательских работ, посвящённых изучению воздействия когерентных ультрафиолетовых непрерывных пучков с длиной волны 266 нм на поверхность листового полистирола [16–18]. В этих работах рассматривается воздействие на полистирол ультрафиолетовых пучков относительно небольшой мощности. Поэтому в данной работе кратко рассмотрены основные внешние проявления протекающих процессов с примерной оценкой некоторых параметров.

### 1. Микровзрыв полистироловой микрочастицы

Известно, что полистирол нестойк в ультрафиолетовом излучении. Однако кратковременное воздействие малой интенсивности полистирол выдерживает. Так, в [19–21] полистироловые частицы использовались как микролинзы для фокусировки ультрафиолетового излучения с длиной волны 355 нм, а в [21] указывается удельная энергия в импульсе в 300 мДж/см<sup>2</sup>. Целью при этом было получение рельефа с наноразрешением на органической подложке. Процессы, протекающие на поверхности полистирола при фокусировке лазерного излучения с длиной волны 266 нм, достаточно подробно описаны в работах [16–18]. Однако полистирол в сферических микрочастицах при облучении сфокусиро-

ваным ультрафиолетовым пучком, когда удельная энергия в импульсе доходит до  $15\text{--}20 \text{ Дж/см}^2$ , ведёт себя несколько иначе. Так, при некотором расположении микрочастицы в сфокусированном пучке (рис. 1) фокальное пятно будет располагаться внутри.

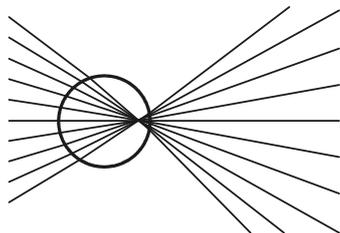


Рис. 1. Положение фокуса в сферической микрочастице

Можно так расположить фокальную плоскость микрообъектива, что пучок будет сфокусирован точно в геометрическом центре полистироловой микрочастицы. В этом случае при воздействии импульсным ультрафиолетовым излучением должно происходить симметричное разрушение полистирола внутри микрочастицы за счёт процессов фотолиза и термического разложения [16]. На рис. 2 представлена оптическая схема экспериментальной установки для реализации процесса перемещения микрообъекта за счёт микровзрывов.

В оптической схеме введены обозначения: UV – ультрафиолетовый лазер DTL-375QT с длиной волны  $355 \text{ нм}$  и максимальной средней мощностью  $40 \text{ мВт}$ ; L – твердотельный лазер с длиной волны  $532 \text{ нм}$  мощностью  $2 \text{ Вт}$ ;  $M_1, M_2, M_3, M_4$  – поворотные зеркала, I – лампа осветителя,  $L_1$  – фокусирующий микрообъектив ( $20\times$ ),  $L_2$  – изображающий микрообъектив ( $16\times$ ), CCD – видеокамера, V – кювета с микрообъектами. В эксперименте в качестве устройств регистрации были использованы камера ВИДЕОСКАН 2020 с разрешением  $1600\times 1200$  пикселей с ультрафиолетовой чувствительностью и

цифровой фотоаппарат FUJIFILM FinePix HS20 с возможностью скоростной съёмки ( $320 \text{ кадров/с}$ ), с разрешением в режиме быстрой съёмки  $320\times 112$  пикселей.

Использование в оптической схеме 20-кратного фокусирующего микрообъектива позволило сфокусировать пучок лазера в пятно диаметром  $1,5 \text{ мкм}$ . При этом сама полистироловая частица также работает как микролинза, диаметр фокального пятна должен составлять примерно  $0,2 \text{ мкм}$  [14, 15].

Падающий на микрочастицу пучок состоит из последовательности коротких импульсов длительностью  $5 \text{ нс}$  с частотой от  $100$  до  $1000 \text{ Гц}$ . С учётом размеров фокального пятна средняя интенсивность в фокальном пятне составляет  $10^{16}\text{--}10^{17} \text{ Вт/м}^2$ . Так как полистирол на этой длине волны довольно сильно поглощает, такое значение интенсивности, очевидно, должно приводить к мгновенному разложению и испарению продуктов распада полистирола в центральной области микрочастицы, что и приводит к микровзрыву. Лазер с длиной волны  $532 \text{ нм}$  использовался для позиционирования микрочастицы в нужной точке (рис. 2а). После позиционирования микрочастицы зеркало  $M_4$  отодвигалось, и вместо пучка с длиной волны  $532 \text{ нм}$  на частицу попадал пучок с длиной волны  $355 \text{ нм}$  (рис. 2б).

Процесс протекания микровзрыва представлен на рис. 3. К сожалению, частоты съёмки  $320 \text{ кадров}$  в секунду оказалось недостаточно для разрешения отдельных стадий движения, так что на рис. 3 представлено два состояния системы микрочастиц: до микровзрыва (рис. 3а) и после микровзрыва (рис. 3б).

Сделанные снимки по изменению положения микрочастиц позволяют оценить скорость перемещения микрочастиц в процессе микровзрыва. Расстояние между начальным и конечным положениями для переместившихся микрочастиц составляет  $10\text{--}20 \text{ мкм}$ .

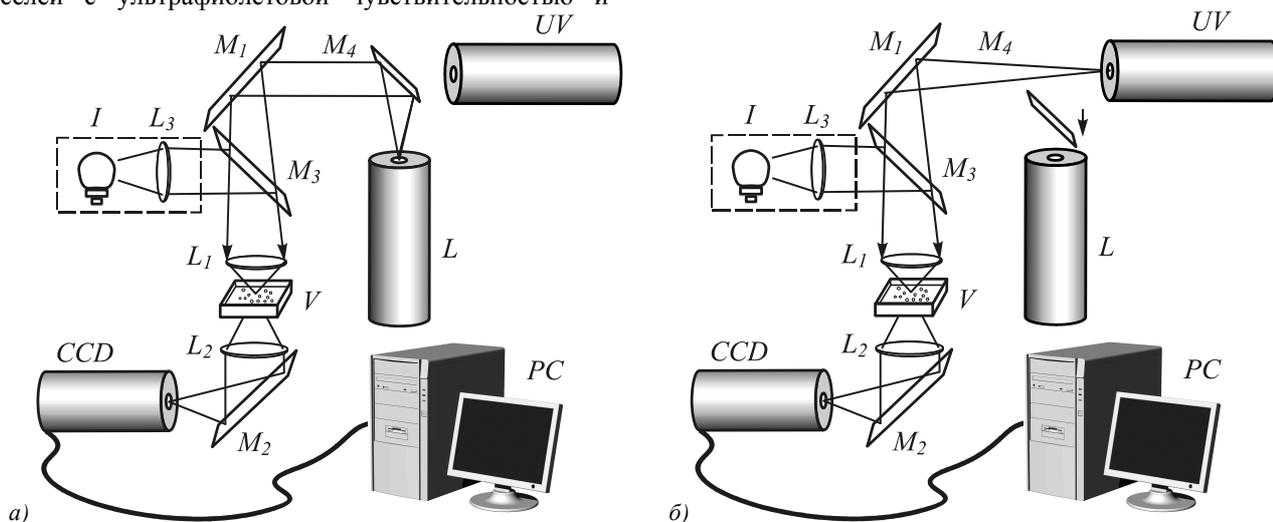


Рис. 2. Оптическая схема эксперимента для осуществления микровзрывов полистироловых микрообъектов в пучке ультрафиолетового лазера: для предварительного перемещения группы полистироловых микрочастиц (а), для осуществления микровзрыва (б)

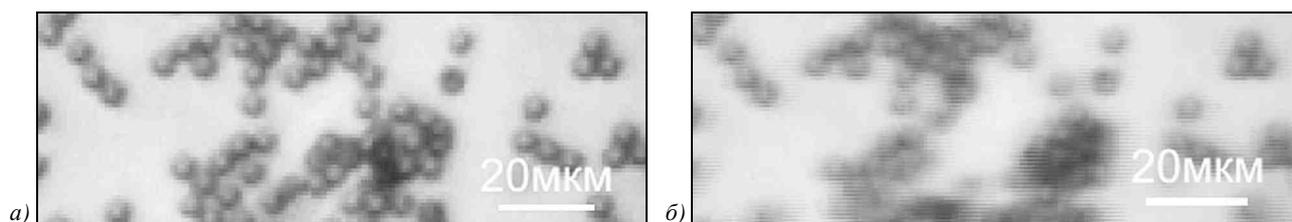


Рис. 3. Положение микрочастиц до микровзрыва (а) и после микровзрыва (б)

Так как интервал времени между соседними кадрами составляет  $1/320$  с, то можно оценить скорость перемещения снизу, она не менее чем 3–6 мм/с. К сожалению, из-за технических трудностей не удалось снять наиболее мощные микровзрывы. Лазер DTL-375QT позволяет менять частоту импульсов от 100 Гц до 10 кГц. При этом энергия импульса меняется от 20 мкДж до 1,5 мкДж. Изменяя частоту, можно изменить энергию импульса и среднюю мощность. Как показали результаты экспериментов, процесс взрыва микрочастицы зависит, в первую очередь, от энергии импульса [15]. При уменьшении энергии импульса до величины менее 3 мкДж микровзрывы не фиксировались. При изменении диаметра полистироловых микрочастиц до 2 мкм с сохранением максимальной энергии в импульсе (14 мкДж) взрывы фиксировались [15].

## 2. Перемещение непрозрачного микрообъекта микровзрывом

В качестве перемещаемого непрозрачного микрообъекта была выбрана спора ликоподия. Выбор был обусловлен доступностью этого микрообъекта, а также тем, что спора ликоподия полностью удовлетворяет условиям постановки эксперимента: почти шарообразной формы непрозрачный объект диаметром около 30 мкм.

Так как спора ликоподия – микрообъект непрозрачный, попытка захвата её специальным полым пучком заканчивается термическим разрушением. Возможен не прямой захват такого микрообъекта с использованием прикреплённых прозрачных микрочастиц, однако в настоящее время неизвестны эксперименты по перемещению столь крупных микрочастиц этим методом [22]. Для эксперимента эмпирически была выбрана частота следования импульсов УФ лазера – 1000 Гц, с энергией в импульсе 15–16 мкДж (как показано в [15], это оптимальные параметры для осуществления микровзрывов полистироловых микрочастиц). Эксперимент протекал в две стадии. Сначала пучком с длиной волны 532 нм захватывалась группа микрочастиц и перемещалась в область, близкую к споре ликоподия. На рис. 4 представлены различные стадии процесса перемещения группы полистироловых микрочастиц диаметром 5 мкм.

Группа микрочастиц, помеченная кружком, перемещается по траектории, указанной тонкой стрелкой, для облегчения задачи последующей точной фокусировки УФ лазерного пучка. Спора ликоподия, которую нужно переместить, указана большой

стрелкой. Для микровзрыва нужно, чтобы в момент прохождения импульса фокусировка осуществлялась как можно ближе к вертикальной оси микрочастицы (горизонтальная линия на рис. 1). Смещение в сторону приводит к разрушению полистирола с краю микрочастицы и, соответственно, к отсутствию микровзрыва.

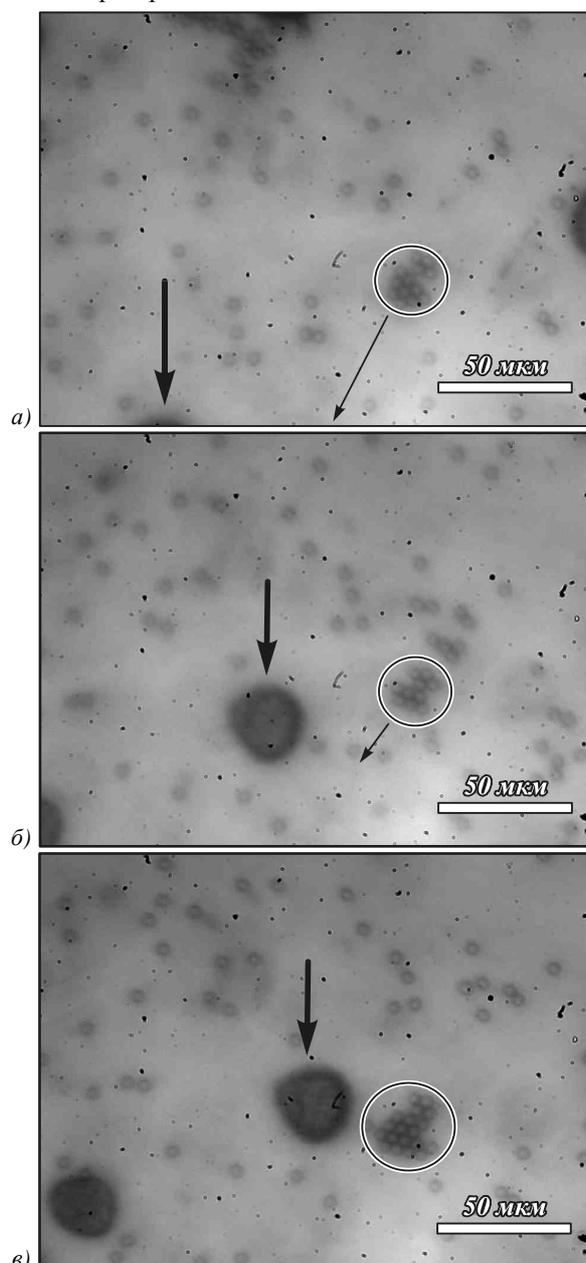


Рис. 4. Стадии перемещения группы полистироловых микрочастиц лазерным пучком с длиной волны 532 нм

При наличии компактной группы микрочастиц выполнить это условие фокусировки проще: хотя бы один из импульсов пройдёт по оси одной из микрочастиц.

После этого оптическая схема была приведена в состояние, представленное на рис. 2б, и на микрочастицы в сформированной группе попадал сфокусированный пучок УФ лазера. После микровзрыва спора ликоподия перемещалась в сторону, противоположную подведённой группе микрочастиц (рис. 5).

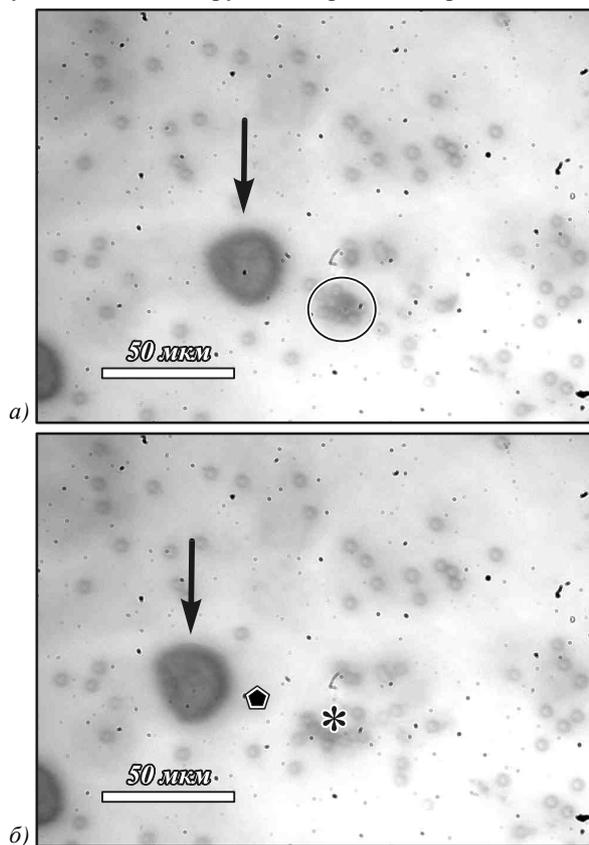


Рис. 5. Положение споры ликоподия до взрыва микрочастицы (а) и после взрыва микрочастицы (б)

На рис. 5б пятиугольником помечено положение центра споры ликоподия до микровзрыва, а звёздочкой – положение взорвавшейся микрочастицы. Как видно из рис. 5, в результате микровзрыва спора ликоподия переместилась примерно на 30 мкм. Средняя скорость перемещения споры ликоподия составила не менее 250 мкм/с, при этом спора ликоподия, расположенная на краю кадра, не изменила своё положение, следовательно, на этом расстоянии ударная волна от микровзрыва не оказала никакого действия. Это означает, что величину перемещения можно регулировать за счёт изменения расстояния между взрывающейся микрочастицей и перемещаемой микрочастицей. Направленные перемещения задаётся положением позиционируемой группы полистироловых микрочастиц.

### Заключение

В работе представлен метод по контролируемому перемещению крупных (более 10 мкм) микрочастиц за счёт микровзрывов микрочастиц полистирола в пучке ультрафиолетового лазера.

Экспериментально показана работоспособность метода, включающего в себя: предварительное позиционирование группы полистироловых микрочастиц в лазерном пучке с длиной волны 532 нм, микровзрыв полистироловых микрочастиц для перемещения крупной микрочастицы.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № НШ-4128.2012.9, грантов РФФИ №№ 10-07-00109, 10-07-00553, 11-07-13164 и 11-07-00153, а также государственных контрактов № 02.740.11.0805, 07.514.11.4055, 07.514.11.4060 и № 14.740.11.0016.

### Литература

1. **Ashkin, A.** Acceleration and trapping of particles by radiation pressure / A. Ashkin // *Phys. Rev. Lett.* – 1970. Vol. 24, N 4. – P. 156-159.
2. **Ashkin, A.** Stable radiation-pressure particle traps using alternating light beams / A. Ashkin // *Optics Letters.* – 1984. – Vol. 9, N 10. – P. 454-456.
3. **Dholakia, K.** Optical tweezers: the next generation / K. Dholakia, G. Spalding, Mac M. Donald // *Physics World.* – 2002. – P. 31-35.
4. **Gibson, G.** Holographic assembly workstation for optical manipulation / G. Gibson, D.M. Carberry, G. Whyte, J. Leach, J. Courtial, J.C. Jackson, D. Robert, M. Miles and M. Padgett // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* – 2008. – V. 10. – P. 1-6.
5. **Grujic, K.** Sorting of polystyrene microspheres using a y-branched optical waveguide / K. Grujic, O.G. Helleso, J.P. Hole and J.S. Wilkinson // *Opt. Express.* – 2005. – V. 13. – P. 1-7.
6. **Zhang, P.** Trapping and guiding microparticles with morphing autofocusing Airy beams / P. Zhang, J. Prakash, Z. Zhang, M.S. Mills, N.K. Efremidis, D.N. Christodoulides, Z. Chen // *OPTICS LETTERS.* – 2011. – V. 36, N 15. – P. 2883-2885.
7. **Belloni, F.** Quadrant kinoform: an approach to multiplane dynamic three-dimensional holographic trapping / F. Belloni, S. Monneret // *App. Opt.* – 2007. – V. 46, N 21. – P. 4587-4593.
8. **Mingwei, G.** Generation and application of the twisted beam with orbital angular momentum / G. Mingwei, G. Chunqing, L. Zhifeng // *Chinese optics letters.* – 2007. – V. 5, N 2. – P. 89-92.
9. **Балалаев, С.А.** Исследование возможности формирования гипергеометрических лазерных пучков методами дифракционной оптики / С.А. Балалаев, С.Н. Хонина, Р.В. Скиданов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2008. – Т. 10, № 3. – С. 694-706.
10. **Скиданов, Р.В.** Экспериментальное исследование движения диэлектрических шариков в световых пучках с угловыми гармониками высоких порядков / Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, В.В. Котляр, В.А. Соифер // *Компьютерная оптика.* – 2007. – Т. 31, № 1. – С. 14-21.
11. **Kotlyar, V.V.** Rotation of laser beams with zero of the orbital angular momentum / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, R.V. Skidanov, V.A. Soifer // *Optics Communications.* – 2007. – Vol. 274, N 1. – P. 8-14.
12. **Котляр, В.В.** Некоторые типы гипергеометрических лазерных пучков для оптического микроманипулирования / В.В. Котляр, А.А. Ковалев, Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина // *Компьютерная оптика.* – 2008. – Т. 32, № 2. – С. 180-186.
13. **Котляр, В.В.** Простые оптические вихри, сформированные спиральной фазовой пластинкой / В.В. Котляр,

- А.А. Ковалёв, Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, О.Ю. Моисеев, В.А. Сойфер // *Оптический журнал*. – 2007. – Т. 74, № 10. – С. 49-58.
14. **Thalhammer, G.** Combined acoustic and optical trapping / G. Thalhammer, R. Steiger, M. Meinschad, M. Hill, S. Bernet and M. Ritsch-Marte // *BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS*. – 2011. – V. 2, N 10. – P. 2859-2870.
  15. **Скиданов, Р.В.** Оптическая микроманипуляция с использованием микровзрывов частиц полистирола / Р.В. Скиданов, А.А. Морозов // *Компьютерная оптика*. – 2010. – Т. 34, № 3. – С. 302-307.
  16. **Быковский, Ю.А.** Исследование ультрафиолетового лазерного воздействия на полистирол методом время-пролётной динамической масс-спектрометрии / Ю.А. Быковский, Е.Н. Ким, В.Б. Шурко, М.Н. Потопов, А.А. Чистяков // *Химическая физика*. – 1991. – Т. 10, N 9. – С. 192-197.
  17. **Быковский, Ю.А.** Фотолиз и модификация поверхности полистирола под действием резонансного УФ-лазерного излучения / Ю.А. Быковский, Е.Н. Ким, В.Б. Ошурко, А.А. Чистяков // *Химическая физика*. – 1992. – Т. 11, N 11. – С. 1484-1490.
  18. **Бахиркин, А.А.** Нетепловая и тепловая диссоциация макромолекул на поверхности полимера, стимулированная лазерным излучением / А.А. Бахиркин, Ю.А. Быковский, В.Б. Ошурко, А.А. Чистяков, Т.М. Якупов // – В кн.: «XIV Международная конференция по когерентной и нелинейной оптике», Тез. докл., Т. II. –Л.: Наука, 1991. – С. 23.
  19. **Fasasi, A.Y.** Nanosecond UV laser processed microgrooves on Ti6Al4V for biomedical applications / A.Y. Fasasi [and other] // *Mat. Sci. Eng. C*. – 2009. – V. 29. – P. 5-13.
  20. **McLeod, E.** Subwavelength direct-write nanopatterning using optically trapped microspheres / E. McLeod, C.B. Arnold // *Nature Nanotech.* – 2008. – Vol. 3. – P. 413-417.
  21. **Piparia, R.** Nanobumps on silicon created with polystyrene spheres and 248 or 308 nm laser pulses / R. Piparia, E.W. Rothe, R.J. Baird // *Applied physics letters*. – 2006. – V. 89. – P. 223113.
  22. **Losert, W.** Survey on indirect optical manipulation of cells, nucleic acids and motor proteins / A. Banerjee, S. Chowdhary, W. Losert, S.K. Gupta // *Journal of Biomedical Optics*. – 2011. – V. 16, N 5. – P. 051302-1.
  7. **Belloni, F.** Quadrant kinoform: an approach to multiplane dynamic three-dimensional holographic trapping / F. Belloni, S. Monneret // *App. Opt.* – 2007. – V. 46, N 21. – P. 4587-4593.
  8. **Mingwei, G.** Generation and application of the twisted beam with orbital angular momentum / G. Mingwei, G. Chunqing, L. Zhifeng // *Chinese optics letters*. – 2007. – V. 5, N 2. – P. 89-92.
  9. **Balalayev, S.A.** Investigation of the possibility of formation of hypergeometric laser beams by diffraction optics / S.A. Balalayev, S.N. Khonina, R.V. Skidanov // *Proceedings of Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences*. – 2008. – V. 10, N 3. – P. 694-706. – (In Russian).
  10. **Skidanov, R.V.** Experimental research of the motion of dielectric spheres in the light beams with angular harmonics of high orders / R.V. Skidanov, S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer // *Computer Optics*. – 2007. – V. 31, N 1. – P. 14-21. – (In Russian).
  11. **Kotlyar, V.V.** Rotation of laser beams with zero of the orbital angular momentum / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, R.V. Skidanov, V.A. Soifer // *Optics Communications*. – 2007. – Vol. 274, N 1. – P. 8-14.
  12. **Kotlyar, V.V.** Some types of hypergeometric laser beams for optical micromanipulation/ V.V. Kotlyar, A.A. Kovalyev, R.V. Skidanov, S.N. Khonina // *Computer Optics*. – 2008. – V. 32, N 2. – P. 180-186. – (In Russian).
  13. **Kotlyar, V.V.** Simple optical vortex formed by a spiral phase plate / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalyev, R.V. Skidanov, S.N. Khonina, O.Yu. Moiseev, V.A. Soifer // *Journal of Optical Technology*. – 2007. – V. 74, N 10. – P. 49-58. – (In Russian).
  14. **Thalhammer, G.** Combined acoustic and optical trapping / G. Thalhammer, R. Steiger, M. Meinschad, M. Hill, S. Bernet and M. Ritsch-Marte // *BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS*. – 2011. – V. 2, N 10. – P. 2859-2870.
  15. **Skidanov, R.V.** Optical micromanipulation using polystyrene particles microexplosions / R.V. Skidanov, A.A. Morozov // *Computer Optics*. – 2010. – V. 34, N 3. – P. 302-307. – (In Russian).
  16. **Bykovskiy, Yu.A.** Research of UV laser irradiation on polystyrene by dynamic time-of-flight mass spectrometry / Yu.A. Bykovskiy, E.N. Kim, V.B. Shurko, M.N. Potapov, A.A. Chistyakov // *Chemical Physics*. – 1991. – V. 10, N 9. – P. 192-197. – (In Russian).
  17. **Bykovskiy, Yu.A.** Photolysis and surface modification of polystyrene by resonant UV laser radiation / Yu.A. Bykovskiy, E.N. Kim, V.B. Oshurko, A.A. Chistyakov // *Chemical Physics*. – 1992. – V. 11, N 11. – P. 1484-1490. – (In Russian).
  18. **Bachirkin, A.A.** Nonthermal and thermal dissociation of macromolecules on the surface of the polymer stimulated by laser radiation / A.A. Bachirkin, Yu.A. Bykovskiy, V.B. Oshurko, A.A. Chistyakov, T.M. Yakupov // – “XIV International Conference on Coherent and Nonlinear Optics”. – Leningrad: “Nauka” Publisher, 1991. – P. 23. – (In Russian).
  19. **Fasasi, A.Y.** Nanosecond UV laser processed microgrooves on Ti6Al4V for biomedical applications / A.Y. Fasasi [and other] // *Mat. Sci. Eng. C*. – 2009. – V. 29. – P. 5-13.
  20. **McLeod, E.** Subwavelength direct-write nanopatterning using optically trapped microspheres / E. McLeod, C.B. Arnold // *Nature Nanotech.* – 2008. – Vol. 3. – P. 413-417.
  21. **Piparia, R.** Nanobumps on silicon created with polystyrene spheres and 248 or 308 nm laser pulses / R. Piparia, E.W. Rothe, R.J. Baird // *Applied physics letters*. – 2006. – V. 89. – P. 223113.
  22. **Losert, W.** Survey on indirect optical manipulation of cells, nucleic acids and motor proteins / A. Banerjee, S. Chowdhary, W. Losert, S.K. Gupta // *Journal of Biomedical Optics*. – 2011. – V. 16, N 5. – P. 051302-1.

### References

1. **Ashkin, A.** Acceleration and trapping of particles by radiation pressure / A. Ashkin // *Phys. Rev. Lett.* – 1970. Vol. 24, N 4. – P. 156-159.
2. **Ashkin, A.** Stable radiation-pressure particle traps using alternating light beams / A. Ashkin // *Optics Letters*. – 1984. – Vol. 9, N 10. – P. 454-456.
3. **Dholakia, K.** Optical tweezers: the next generation / K. Dholakia, G. Spalding, Mac M. Donald // *Physics World*. – 2002. – P. 31-35.
4. **Gibson, G.** Holographic assembly workstation for optical manipulation / G. Gibson, D.M. Carberry, G. Whyte, J. Leach, J. Courtial, J.C. Jackson, D. Robert, M. Miles and M. Padgett // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* – 2008. – V. 10. – P. 1-6.
5. **Grujic, K.** Sorting of polystyrene microspheres using a y-branched optical waveguide / K. Grujic, O.G. Helleso, J.P. Hole and J.S. Wilkinson // *Opt. Express*. – 2005. – V. 13. – P. 1-7.
6. **Zhang, P.** Trapping and guiding microparticles with morphing autofocusing Airy beams / P. Zhang, J. Prakash, Z. Zhang, M.S. Mills, N.K. Efremidis, D.N. Christodoulides, Z. Chen // *OPTICS LETTERS*. – 2011. – V. 36, N 15. – P. 2883-2885.

## COMPOSITE LIGHT BEAM AND MICROEXPLOSION FOR OPTICAL MICROMANIPULATION

R.V. Skidanov, A.A. Morozov, A.P. Porfirev

Image Processing Systems Institute of the RAS,

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

**Abstract**

A method for moving relatively large microscopic energy through the use of polystyrene microparticles implosions in the ultraviolet light beam with a wavelength of 355 nm. Pre-positioning of the polystyrene microparticles was carried out by a laser beam with a wavelength of 532 nm, which was distributed in the same direction as an ultraviolet beam. Presented an experiment on controlled movement of biological micro-object with a diameter 30 mkm.

**Key words:** optical capture, polystyrene microparticles, a compound light beams, the ultraviolet laser, microexplosion.

**Сведения об авторах**

**Скиданов Роман Васильевич**, 1973 года рождения. В 1990 году с отличием окончил Самарский государственный университет (СамГУ) по специальности «Физика». Доктор физико-математических наук (2007 год), работает старшим научным сотрудником лаборатории лазерных измерений Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН), профессором кафедры технической кибернетики СГАУ. Скиданов Р.В. – специалист в области дифракционной оптики, математического моделирования, обработки изображений и нанофотоники. В списке научных работ Р.В. Скиданова 90 статей, 5 монографий.

E-mail: [romans@smr.ru](mailto:romans@smr.ru).

**Roman Vasilevich Skidanov** (b. 1973) graduated with honours (1990) from the Samara State University (SSU), majoring in Physic. He received his Doctor in Physics & Maths (2007) degrees from Samara State Aerospace University. He is the senior researcher laboratory of laser measurement at the Samara Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS), holding a part-time position of professor at SSAU's Technical Cybernetics sub-department. He is co-author of 60 scientific papers, 3 monographs. His current research interests include diffractive optics, mathematical modeling, image processing, and nanophotonics.

**Морозов Андрей Андреевич**, 1987 года рождения, в 2008 получил степень бакалавра в СГАУ по специальности «Прикладные математика и физика». В 2010 получил степень магистра в СГАУ по специальности «Прикладные математика и физика». В списке научных работ А.А. Морозова 5 статей. Область научных интересов: дифракционная оптика.

E-mail: [ragefalcon@mail.ru](mailto:ragefalcon@mail.ru).

**Andrey Andreevich Morozov** (b. 1987) He received his bachelor of applied mathematics and physics (2008) in SSAU. He received his master of applied mathematics and physics (2010) in SSAU. He is co-author of 5 scientific papers. His research interests are currently diffractive optics.



**Порфирьев Алексей Петрович**, 1987 года рождения. Магистр прикладных математики и физики (2010), аспирант Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва, стажёр-исследователь Учреждения Российской академии наук Институт систем обработки изображений. Область научных интересов – дифракционная оптика, оптическая микроманипуляция.

E-mail: [lporfirev@rambler.ru](mailto:lporfirev@rambler.ru).

**Alexey Petrovich Porfirev** (b. 1987). Master of applied mathematics and physics (2010), post-graduate student of the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolev, probationer-researcher of the Image Processing System Institute of RAS. Research interests: diffractive optics, optical micromanipulation.

Поступила в редакцию 5 марта 2012 г.