

# Микровзрывы полистироловых микрочастиц на подложке, покрытой алюминием

В.С. Васильев<sup>а</sup>, Р.В. Скиданов<sup>а,б</sup>

<sup>а</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

<sup>б</sup> Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, 443001, ул. Молодогвардейская, 151, Самара, Россия

---

## Аннотация

Представлены экспериментальные результаты микровзрыва полистироловых микрочастиц диаметром в 5 мкм расположенных на подложке, покрытой слоем алюминия толщиной в 100 нм. Произведено сравнение результатов эксперимента на кварцевой подложке и на подложке, покрытой алюминием. В качестве источника излучения был выбран лазер с длиной волны 355 нм.

*Ключевые слова:* микровзрывы; ультрафиолетовый пучок света; полистироловые микросферы; скорость микрочастицы; кварцевая подложка; алюминиевая подложка

---

## 1. Введение

В настоящее время все работы по манипулированию идут в направлении уменьшения размеров перемещаемых объектов [1-3]. Существует огромное количество методов манипуляции микрочастицами при помощи оптических ловушек разных типов. Однако желательно иметь метод для перемещения относительно крупных микрообъектов [4] (более 30 мкм). Таких объектов особенно много встречается в биологических исследованиях (споры, микрообразцы тканей, крупные клетки). При этом необходимо, чтобы на биологический микрообъект попадало минимальное количество светового излучения. Можно осуществлять механические микроманипуляции при помощи механического микропинцета. Для манипулирования микрочастицами этот метод является инвазивным (т.е. повреждает объект, который необходимо переместить).

Характерный размер перемещаемых микрообъектов с помощью обычной оптической ловушки от долей микрометра до примерно 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. 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 непрозрачных микрообъектов. Предельный размер уменьшается в полтора - два раза. В то же время микрообъекты размером до 100 мкм все еще довольно малы для механического перемещения. Существует довольно сложный способ комбинированного, с помощью света и ультразвука, захвата таких микрообъектов [5]. В [6] описан более простой метод перемещения таких микрообъектов за счёт микровзрывов полистироловых микрочастиц в пучке ультрафиолетового лазера с длиной волны 355 нм.

В данной работе будет рассмотрен метод перемещения микрообъектов при помощи микровзрыва полистироловых микрочастиц на подложке, покрытой слоем алюминия. Данный способ, по сравнению с микровзрывами на кварцевой подложке, уменьшает энергию, затрачиваемую на микровзрывы за счёт интерференции пучка падающего на подложку и пучка, отражённого от поверхности подложки в разы.

Объектом исследования в данной работе является вычисление средней скорости разлёта полистироловых микрочастиц, диаметром в 5 микрон, после микровзрыва, возникающем под действием лазерного излучения с длиной волны 355 нм.

Предметом исследования является поведение полистироловой микрочастицы при её взрыве.

Цель данной работы состоит в экспериментальной проверке эффекта интерференции падающего и отражённого пучков при микровзрыве на подложке, покрытой алюминием. Так же целью работы являются вычисление скорости разлёта микрочастиц после микровзрыва и нахождение параметров, при которых происходит микровзрыв.

В соответствии с поставленной целью, были сформулированы следующие задачи:

- натурное наблюдения микровзрыва полистироловых микрочастиц на подложке, покрытой алюминием под действием ультрафиолетового лазера с длиной волны 355 нм;
- вычисление средней скорости разлёта микрочастиц полистирола после микровзрыва;
- нахождение параметров системы, при которых наблюдаются микровзрывы полистироловых микросфер.

Научно-практическая новизна и значимость полученных результатов:

- успешно выполнен натурный эксперимент по микровзрыву полистироловых микрочастиц на подложке, покрытой алюминием под действием ультрафиолетового лазера с длиной волны 355 нм.

- рассчитана средняя скорость разлёта полистироловых микрочастиц после микровзрыва (при использовании 20х фокусирующего микрообъектива). найдены параметры системы, при которых наблюдаются микровзрывы полистироловых микросфер.

## 2. Теоретическое описание наблюдаемого эффекта

В данном эксперименте наблюдается эффект интерференции падающей и отражённой волн. В результате того, что используется один и тот же источник светового излучения (лазер DTL-375 с длиной волны 355 нм), то падающая и отражённая волны будут когерентными. Таким образом, суммарную интенсивность падающей и отражённой волн [7] можно представить в следующем виде:

$$I = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta) \quad (1)$$

где  $I_1, I_2$  - интенсивности падающего и отражённого пучков соответственно,  $\delta$  - разность фаз между данными пучками. Учитывая, что кварцевое стекло имеет коэффициент пропускания 99%, а алюминий отражает порядка 93-94%, то можно написать следующее:

$$I_1 \approx I_2 \quad (2)$$

Тогда, подставляя в формулу выше, получаем, что  $I_{max} = 4I_1$  и  $I_{min} = 0$ . Данная формула будет проверена экспериментально – если будут наблюдаться микровзрывы на алюминиевой подложке на значении мощности, при которой не наблюдалось микровзрывов полистироловых микрочастиц на кварцевой подложке, то можно сделать вывод об усилении двух пучков путём их интерференции.

## 2. Эксперимент

Рассмотрим установку, которая использовалась в процессе наблюдения натурального эксперимента по микровзрыву полистироловых микрочастиц на подложке, покрытой слоем алюминия, толщиной в 100 нм. Нанесения алюминия на подложку наносилось при помощи использования установки «Каролина Д 12 А», предназначенная для магнетронного напыления на керамические, кремниевые и другие подложки размером до 100 мм. В оптической схеме на рисунке 1 введены следующие обозначения: 1 - непрерывный ультрафиолетовый лазер DTL-375 с длиной волны 355 нм и максимальной средней мощностью 40 мВт [4]; 2, 3 – поворотные зеркала; 4 – кубик с полупрозрачными зеркалами, (пропускная способность в прямом направлении составляет 60% от падающей энергии лазерного излучения, 40% идёт на отражение); 5 – фокусирующий микрообъектив (20х); 6 – подложка, покрытая алюминием с микрочастицами полистирола; 7 - CCD – камера FastVideo 500 E с разрешением 640x480.

Перейдём к описанию эксперимента. Свет при помощи поворотных зеркал и микрообъектива [8] фокусируется в необходимую область подложки с микрочастицами. Ввиду хорошего коэффициента отражения алюминия (порядка 93-94%) процесс микровзрывов на алюминиевой подложке необходимо наблюдать в отражённом свете. Для разведения падающего на подложку и отражённого от подложки пучков используется кубик с полупрозрачными зеркалами. После кубика отражённый свет попадает на CCD – камеру и далее полученное изображение обрабатывается на компьютере.

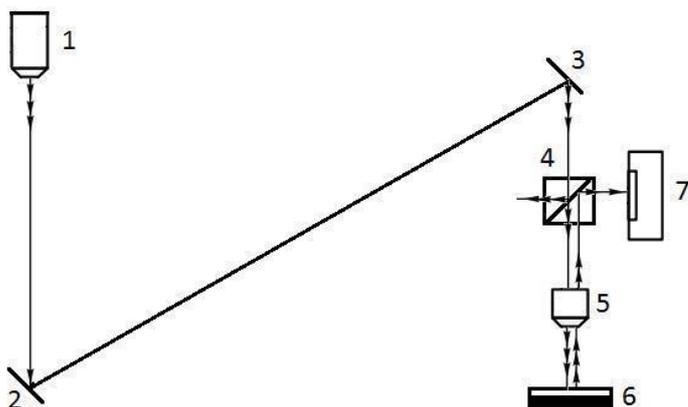


Рис. 1. Оптическая схема эксперимента для взрыва полистироловых микрочастиц на подложке, покрытой алюминием.

Переходим к результатам эксперимента. Первоначально эксперимент проходил при максимальном значении мощности лазерного излучения, достигаемом при частоте следования импульсов 3000 Гц. Но при данном значении наблюдалось разрушение поверхности подложки, покрытой алюминием. Вследствие этого мощность пучка была уменьшена до значения, 6,17 мВт, при котором прекращалось наблюдаемое повреждение поверхности подложки. Таким образом, было сведено к минимуму влияние плавления и разрушения поверхности подложки на перемещение микрочастиц полистирола.

Был проведен эксперимент, при котором на подложку покрытой алюминием наносились микрочастицы полистирола, находящиеся в воде. В результате были получены кадры перемещения микрочастиц полистирола после взрыва, который достигается в результате наложения падающего и отражённого пучков лазерного излучения. Теперь поясним, каким образом были сделаны данные выводы.

Во-первых, для того, чтобы полностью избавиться от влияния плавления и разрушения поверхности подложки, покрытой алюминием на перемещение частиц полистирола, частицы вводились на поверхность в воде. Таким образом, вода поглощала ту часть энергии, которая приходила от разрушения поверхности подложки.

Учитывая, что через поверхность, покрытую алюминием, свет почти не проходит (в идеальном случае проходит всего лишь 1% от общего количества), то вся мощность идёт на нагрев данной поверхности (влияние которого было исключено за счёт выбора необходимой мощности и введения частиц в растворе с водой), а остальная часть отражается (порядка 93%). Получаем, что на взрыв полистироловых микрочастиц влияет лишь энергия падающего пучка и энергия отражённого пучка.

Для того, чтобы понять действительно ли падающий и отражённый пучки взаимодействуют друг с другом или основной вклад вносит лишь падающий пучок, был проведён ещё один эксперимент, который исключает данные вопросы. Подложка покрытая алюминием была заменена на кварцевую подложку, коэффициент пропускания которой составляет порядка 99%. Таким образом, если при прежней мощности лазерного излучения (6,17 мВт) взрыва полистироловых микрочастиц происходить не будет, то выяснится, что отражённый пучок определённым образом взаимодействует с падающим пучком.

После проведения натурных экспериментов на подложке, покрытой алюминием, наблюдался взрыв полистироловых микрочастиц, в результате которого происходило смещение близлежащих микрочастиц полистирола. При смене подложки, покрытой алюминием на кварцевую подложку и оставляя все параметры схемы неизменными взрыва полистироловых частиц не наблюдалось. В результате можно сделать вывод, что на подложке, покрытой алюминием взрыв полистироловых микрочастиц происходит за счёт взаимодействия падающего и отражённого пучков.

Так же была вычислена средняя скорость разлёта частиц полистирола, которые находятся на подложке, покрытой алюминием после взрыва близлежащей частицы полистирола. Данное значения равно 0.77 мм/с.

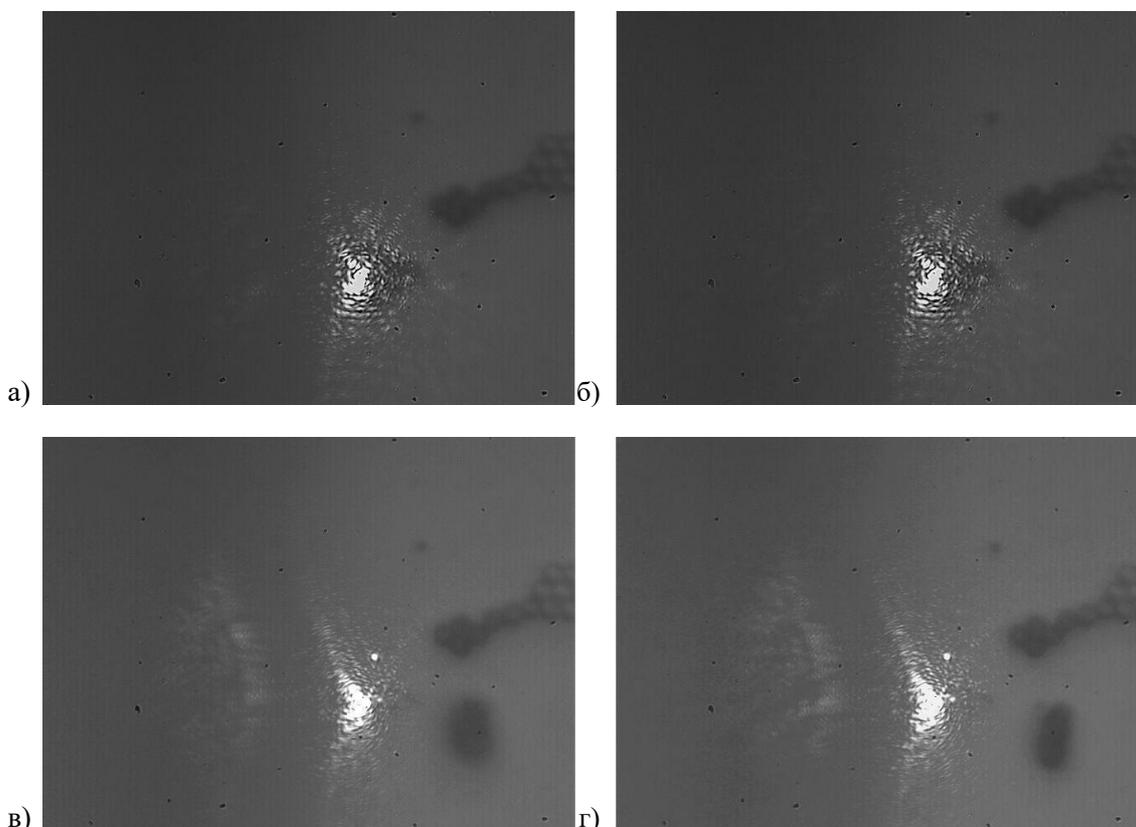
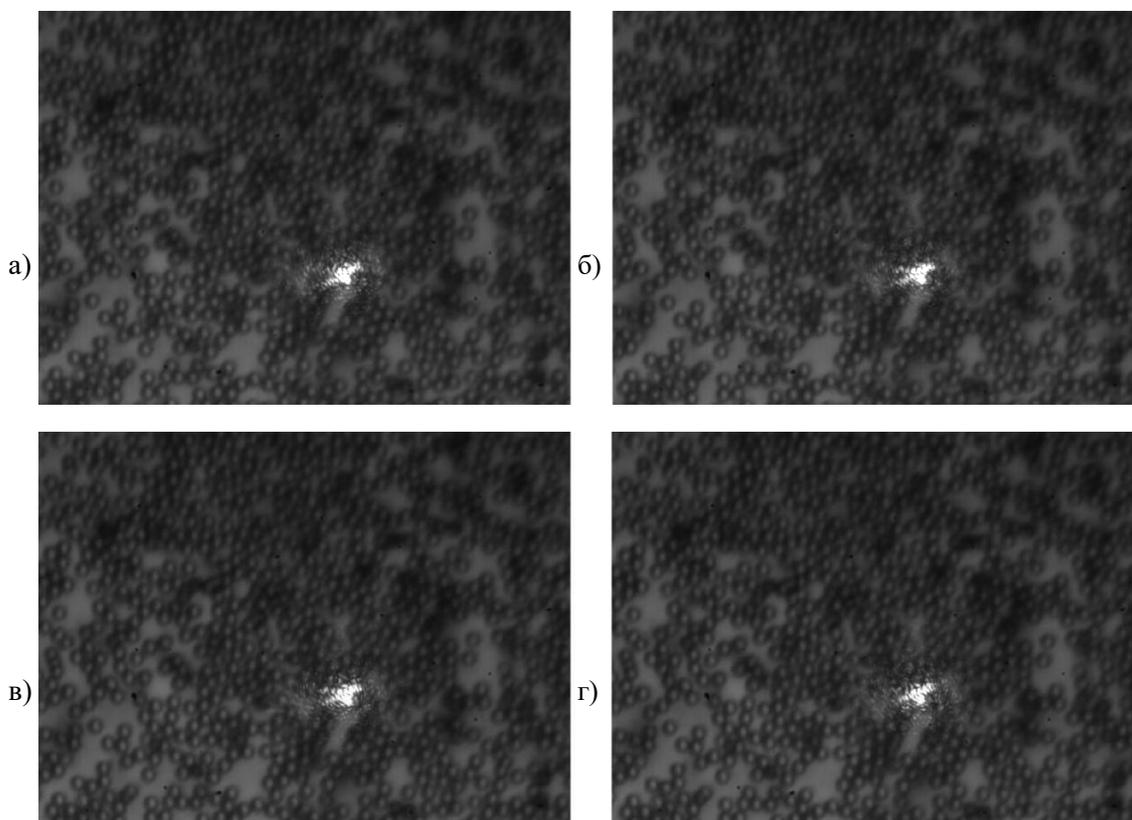


Рис. 2. Перемещение группы микрочастиц после микровзрыва используя подложку, покрытую слоем алюминия. Интервал времени между кадрами составляет 10 мс.



**Рис. 3.** Результаты эксперимента по взрыву микрочастиц полистирола, используя кварцевую подложку. Интервал между кадрами составляет 10 мс.

### 3. Заключение

В процессе выполнения данной работы были получены следующие основные результаты:

- 1) Произведён эксперимент, в ходе которого обнаружено существование интерференции падающей и отражённой волн при использовании алюминиевой подложки.
- 2) Экспериментально вычислены скорости разлёта частиц при использовании 20х фокусирующего объектива. Значение скорости составляет 0,77 мм/с;
- 3) Найдены параметры, при которых начинает происходить взрыв. Параметром является средняя мощность излучения. Взрыв происходит при значениях выше 6,17 мВт.

### Литература

- [1] Zemánek, P. Optical trapping of nanoparticles and microparticles by a Gaussian standing wave / P. Zemranek, A. Jonras, L. Sramek, M. Liska // Optics Letters. – 1999. – Vol. 24, N. 21. – P. 1448-1450.
- [2] De, A.K. Stable optical trapping of latex nanoparticles with ultrashort pulsed illumination / A.K. De, D. Roy, A. Dutta, D. Goswami// Applied Optics. – 2009. – Vol. 48, N. 31. – P. 33-37.
- [3] Bosanac, L. Efficient Optical Trapping and Visualization of Silver Nanoparticles / L. Bosanac, T. Aabo, P.M. Bendix, L.B. Oddershede // Nano Letters.– 008. – Vol. 8, N. 5. – P. 1486-1491
- [4] Хонина, С.Н. Дифракционные оптические элементы для оптического манипулирования микрочастицами / С.Н. Хонина, В.В. Котляр, Р.В. Скиданов, В.А. Соيفер // Официальные материалы научно-практической конференции “Голография в России и за рубежом. Наука и практика”. – 2004. – Т.2, №4. – С.62
- [5] 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
- [6] Скиданов, Р.В. Составной световой пучок и микровзрывы для оптической микроманипуляции / Р.В. Скиданов, А.А. Морозов, А.П. Пофирьев // Компьютерная оптика. – 2010. – Т.34, №3. – С.371-375
- [7] Курс общей физике. Т. IV. Оптика / Д.В. Сивухин. – Изд. 2-е, испр. – М.: Наука, 1980. – 752 с.
- [8] Сборка и юстировка оптических приборов / А.Н. Бардин – Изд. 1-ое. – М.: Высшая школа, 1968. – 326 с.