

07;12

Оптические свойства "аномальной" капли

© Б.А. Безуглый, С.В. Шепеленок, Н.А. Иванова

Тюменский государственный университет

Поступило в Редакцию 29 июня 1998 г.

Впервые создана варифокальная самоцентрирующаяся микролинза на основе эффекта светоиндуцированной концентрационно-капиллярной конвекции. Измерены зависимости фокусного расстояния от мощности управляющего пучка. Оценены скорости самоцентрирования микролинзы и перестройки ее формы.

Идея применения жидкостей для построения оптических элементов с управляемыми характеристиками восходит к И. Ньютону, который предложил использовать в качестве параболического зеркала поверхность ртути во вращающемся сосуде. В настоящее время в этой области достигнут столь значительный прогресс, что уже успешно эксплуатируются жидкометаллические телескопы с диаметром зеркала 4 м [1].

В 1958 г. М. Блок и М. Харвит предложили использовать в качестве оптического элемента термокапиллярно-деформированную свободную поверхность жидкости [2]. Явление самофокусировки лазерного излучения, возникавшей при отражении падающего пучка от термокапиллярно-деформированного им жидкого слоя, изучалось в работах [3–6].

После открытия концентрационно-капиллярной конвекции, индуцированной тепловым действием света, в тонких пленках растворов положительно тензоактивных веществ¹ в легколетучих растворителях было предложено использовать в качестве варифокальной жидкой линзы "аномальную" каплю [5], образование которой обусловлено вышеуказанным явлением. В работе [7] показана возможность достижения стационарного состояния "аномальной" капли, что подтверждено экспериментально [8] на смеси ацетона и насыщенного раствора родамина G в воде.

В настоящей работе "аномальная" капля получена на основе раствора йода в 96%-м этаноле, с концентрацией 7.3 g/l, где тензоактивной компонентой служила содержащаяся в этаноле вода. Эксперименталь-

¹ Положительно тензоактивное вещество — это менее летучая компонента раствора или смеси, с ростом концентрации которой поверхностное натяжение жидкости увеличивается.

ный раствор закачивали в герметичную кювету, которую подогревали сверху для предотвращения конденсации паров.

Управляющий пучок, с помощью которого создавалась капля, формировался оптической системой, состоящей из источника света (ртутная лампа НВО-100), коллектора, зеркала и конденсатора. Жидкую линзу, а так же построенное с ее помощью изображение предмета наблюдали в микроскоп. Мощность светового пучка P изменяли с помощью нейтральных светофильтров в диапазоне от 48 до 200 mW.

При $P < 48$ mW центростремительное течение жидкости почти прекращалось, капля не удерживалась в пучке, уходила из него и растекалась.

Форма поверхности линзы зависела от мощности формирующего пучка. При увеличении мощности излучения диаметр и фокусное расстояние линзы f уменьшаются как вследствие уменьшения радиуса кривизны поверхности (в связи с увеличением поверхностного натяжения), так и в результате уменьшения ее объема (за счет испарения растворителя). С другой стороны, при уменьшении мощности пучка диаметр линзы и ее фокусное расстояние f увеличиваются из-за притока по подложке растворителя и увеличения объема линзы, а также вследствие увеличения радиуса кривизны ее поверхности (в связи с уменьшением поверхностного натяжения). Диаметр линзы менялся в пределах от 325 до 130 μm при изменении P от 48 до 200 mW соответственно.

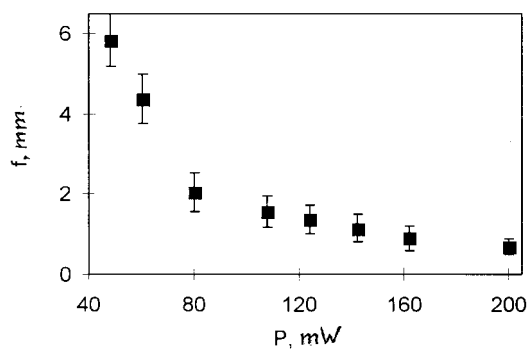


Рис. 1. Зависимость фокусного расстояния линзы от мощности управляющего пучка.

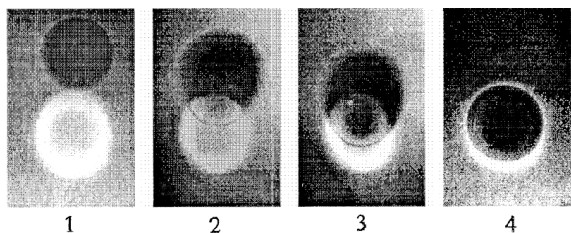


Рис. 2. Световой пучок смещен на расстояние, равное его диаметру (1), и капля (2, 3) двигается в направлении нового положения пучка (4).

Зависимость f от мощности пучка P показана на рис. 1. Фокусное расстояние f вычисляли по формуле $f = d'a/(d' + d)$, где a — расстояние между предметом (контрольной сеткой с квадратными ячейками) и жидкой микролинзой; d — размер (сторона) ячейки (0.391 mm); d' — размер изображения ячейки, построенной при помощи жидкой микролинзы.

Важно отметить, что такая линза обладает свойством самоцентрирования. Оно заключается в том, что при смещении пучка на расстояние, не превышающее его диаметра, линза стремится занять такое положение в пучке, при котором ее оптическая ось проходит через точку максимальной интенсивности пучка.

При резком смещении пучка на значительное расстояние (до двух диаметров пучка) линза в процессе растекания деформируется таким образом, что в направлении нового положения пучка происходит выдвигание псевдоподии, которая ускоренно втягивается в пучок, увлекая тело линзы. Самопоиск смещенного пучка и возвращение системы в рабочее состояние можно назвать эффектом "отслеживания" пучка (рис. 2).

За время самоцентрирования выбрано время перемещения капли в пучок при мгновенном смещении пучка на расстояние, равное его диаметру. Оно составляло от 1 до 5 с. Здесь минимальное значение соответствует мощности 200 mW, а максимальное — 80 mW. Время полной перестройки линзы при изменении светового потока от 200 до 142 mW было 3–4 с, а при изменении его от 200 до 89 mW не превышало 10 с.

На основе полученных экспериментальных данных можно сделать выводы, что жидкая микролинза, полученная на основе раствора йод:этанол:

обладает большими скоростями самоцентрирования и перестройки формы при изменении мощности управляющего пучка;

имеет меньшие размеры по сравнению с жидкой линзой, полученной на основе смеси из растворов родамина G в воде и родамина G в ацетоне [6];

может быть использована для создания адаптивного оптического устройства, параметрами которого можно управлять изменением интенсивности управляющего пучка.

Работа поддержана грантом Тюменского государственного университета 15–98.

Список литературы

- [1] *Hickson P., Borra E.F., Cabanak R. et al. // Astrophys. J. 1994. V. 436. L 201–L 204.*
- [2] *Block M.J., Harwit M. // J. Opt. Soc. Am. 1958. V. 48 (7). P. 480–482.*
- [3] *Da Costa G., Calatroni J. // J. Appl. Opt. 1979. V. 18 (2). P. 233–235.*
- [4] *Da Costa G. // J. Phys. Lett. 1980. V. 80A (4). P. 320–322.*
- [5] *Безуглый Б.А. Канд. диссертация. М.: МГУ, 1983. 270 с.*
- [6] *Визнюк С.Ф., Суходольский А.Т. // КЭ. 1988. V. 15 (4). P. 767–770.*
- [7] *Bezuglyi B.A. // Rev. Proc. 1st Int. Symp. Hydromech. Heat/Mass Transfer Microgr. Perm–Moscow, Russia, 6–14 July 1991. Gordon & Breach Sci. Publ. Amsterdam. © 1992. P. 335–340.*
- [8] *Bezuglyi B.A., Shepelenok S.V., Tarasov O.A. Adaptive optical device based on liquid lens. / IAC'97, Abstracts Aerospace Congress, Moscow, 31 August–5 September. 1997. V. 1. STC "Petrovka", 1997. P. 245.*