

УДК 535.371, 535.621, 621.373, 544.032

В.А. ХАРЕНКОВ, В.А. ДОНЧЕНКО, Ал.А. ЗЕМЛЯНОВ, Н.С. ПАНАМАРЕВ

ИНЕРЦИОННОСТЬ СВЕТОВОГО ЛИМИТЕРА НА БАЗЕ НАНОЧАСТИЦ¹

Экспериментально определены динамический диапазон ограничения по интенсивности лазерного излучения и инерционность оптического лимитера на базе наночастиц металлов.

Ключевые слова: оптический лимитер, наночастицы, коллоидные растворы.

Коллоидные растворы (КР) металлов, представляющие собой жидкость со взвешенными металлическими наночастицами, вызывают устойчивый научный интерес благодаря своим уникальным оптическим свойствам, отличным от характеристик как сплошного металла, так и чистой жидкости [1,2]. КР обладает ярко выраженной оптической нелинейностью, проявляющейся при достаточно низких плотностях мощности падающего лазерного излучения (~ 1 Вт/см²) [2] и приводящей к появлению зависимости показателя преломления КР от интенсивности световой волны. Это является причиной пространственной фазовой и амплитудной самомодуляции лазерного пучка при прохождении через коллоидную среду и реализации различных нелинейно-оптических эффектов, в частности тепловой дефокусировки и оптического ограничения [3–5]. Последний из этих эффектов интересен тем, что позволяет создавать оптические устройства, которые беспрепятственно пропускают свет малой интенсивности, но кардинально ослабляют высокоинтенсивное излучение, что важно, например, для защиты фотосенсорных компонентов [6].

Физическим принципом работы оптических ограничителей (лимитеров) с использованием КР является эффект самонаведенной тепловой линзы, возникающей в поглощающей композитной среде за счет её нагрева излучением [7]. Коллоидные частицы, обладая поглощением на несколько порядков величины больше, чем жидкая основа, выступают в качестве распределенных (по объему) источников тепла, существенно снижая энергетический порог проявления эффекта тепловой рефракции излучения. Тепловая линза перераспределяет световые потоки по сечению пучка, приводя к так называемой самодифракции излучения и формированию системы дифракционных колец в дальней зоне [7]. Изучению структуры этой дифракционной картины (ДК), её зависимости от мощности лазерного пучка посвящен ряд работ [3,5]. Однако ряд важных вопросов, в частности о переходных стадиях развития ДК, рассмотрен не был. В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований дифракционной картины, создающейся на экране при прохождении маломощного лазерного пучка через кювету с КР с целью определения временной динамики установления устойчивой ДК.

Излучение непрерывного твердотельного лазера LCS-DTL-317 ($\lambda = 532$ нм, максимальная мощность $P = 20$ мВт, диаметр пучка 1 мм, угловая расходимость пучка 0,6 мрад) направлялось на кювету с коллоидным раствором, после чего производилась регистрация проекций пучка на экране фотоаппаратом Nikon D3000 и видеокамерой GZ-MG275E. Расстояние от кюветы до экрана составляло 8 м (рис. 1).

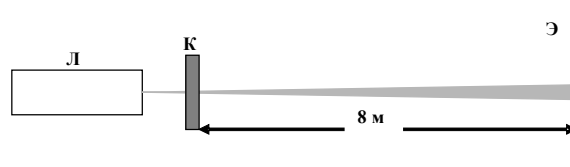


Рис. 1. Схема наблюдения дифракционной картины: Л – твердотельный лазер LCS-DTL-317; К – кювета с КР; Э – экран

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства образования и науки РФ, рег. № 2.4219.2011.

Наночастицы различных материалов (Ag, Al, Cu, Ni, Zn, TiO₂), разных размеров и разной степени агломерации взвешивались в этаноле, ацетоне, глицерине и дистиллированной воде в кюветках различной толщины. Типичные регистрируемые ДК лазерного пучка, прошедшего кювету с КР, показаны на рис. 2.

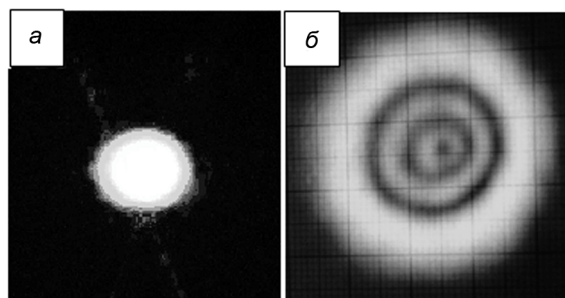


Рис. 2. Типичные проекции лазерного пучка, прошедшего: *a* – чистый глицерин, *б* – глицерин с наночастицами Ag (размером ~ 10 нм)

Отметим, что в условиях эксперимента распределение интенсивности излучения в виде колец не наблюдалось при облучении кювет со всеми видами наночастиц, взвешенными в воде, а также для частиц с размерами выше 5 мкм.

Важно отметить тот факт, что при увеличении мощности падающего излучения диаметр дифракционной картины возрастал линейным образом во всем диапазоне изменения мощности падающего излучения. Зависимость диаметра дифракционной картины от мощности падающего излучения показана на рис. 3.

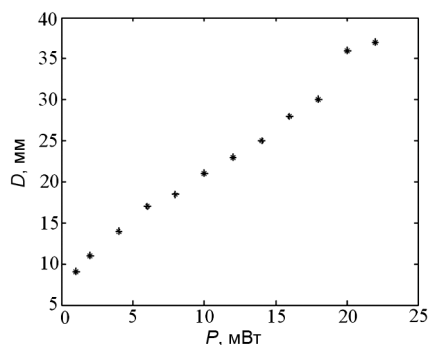


Рис. 3. Зависимость диаметра ДК от мощности падающего излучения

На рис. 4 представлена зависимость интенсивности излучения, прошедшего кювету с чистым глицерином (кривая 1) и с наночастицами Ag в глицерине (кривая 2) от мощности падающего на неё излучения. Мощность лазерного излучения изменялась от 1 до 22 мВт.

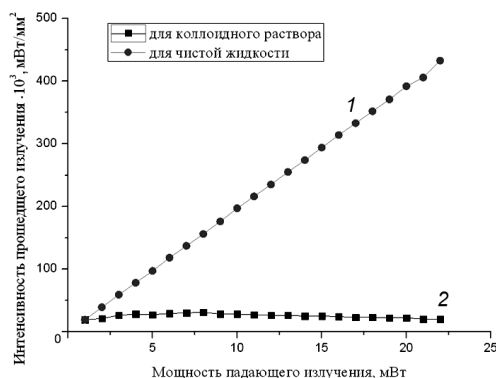


Рис. 4. Зависимость интенсивности излучения, прошедшего кювету с чистым глицерином (кр. 1) и с наночастицами Ag в глицерине (кр. 2) от мощности падающего излучения

Из данного графика видно, что при прохождении излучения через кювету с КР интенсивность прошедшего излучения остается практически неизменной, в то время как интенсивность излучения, прошедшего через кювету с чистым глицерином, изменяется более чем на порядок. Это прямо говорит об эффективной работе рассмотренного типа ограничителя (лимитера) интенсивности излучения.

Поскольку в основе работы рассмотренного ограничителя лежит эффект тепловой самодиффузии лазерного пучка, который по своей природе является инерционным, одной из важных задач в изучении данного типа ограничителей являлось измерение времени установления стационарной ДК.

Наблюдения показывают, что динамика установления ДК состоит в следующем: первоначальная проекция лазерного излучения, прошедшего кювету с КР, последовательно преобразуется в систему колец в течение нескольких секунд, с постепенным нарастанием числа колец и увеличением диаметра внешнего кольца. Эволюция проекционной картины на экране изображена на рис. 5.

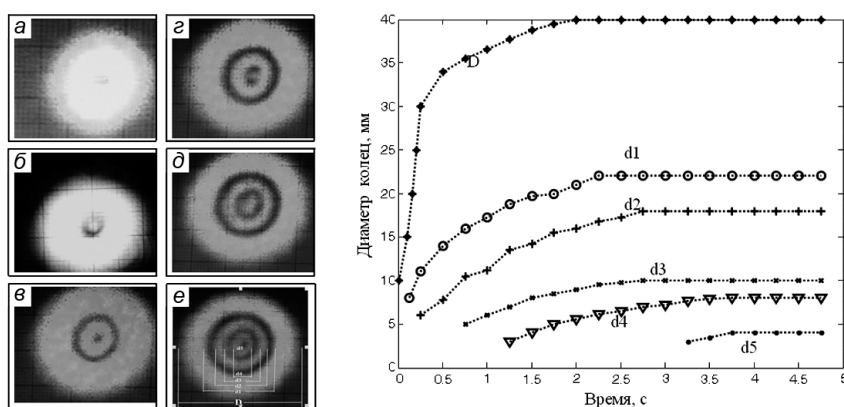


Рис. 5. Временное развитие проекционной картины

Таким образом, рассмотренный тип лимитера на базе коллоидных растворов наночастиц металлов обладает значительным динамическим диапазоном ограничения по интенсивности лазерного излучения и временем установления порядка единиц секунд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кавецкая И.В., Волашина Т.В., Капаванский В.А., Красовский В.И. // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2009. – Т. 11. – № 1. – С. 53–57.
2. Ganeev R.A., Ryasnyansky A.I., Kamalov Sh.R., et al. // J. Phys. D. – 2001. – V. 34. – No. 11. – P. 1602–1611.
3. Deng L., He K., Zhon T., and Li C. // J. Opt. A. – 2005. – V. 7. – No. 8. – P. 409–415.
4. Nascimento C.M., Alencar M., Chavez-Cerda S., et al. // J. Opt. A. – 2006. – V. 8. – No. 11. – P. 947–951.
5. Mao Z., Qido I., He F., et al. // Chin. Opt. Lett. – 2009. – V. 7. – No. 10. – P. 949–952.
6. Ono H. and Kawatsuki N. // Opt. Commun. – 1997. – V. 139. – No. 1–3. – P. 60–62.
7. Gordon J.P., Leite R.C., Moore R.S., et al. // J. Appl. Phys. – 1965. – V. 36. – No. 1. – P. 3–8.

Сибирский физико-технический институт им. акад. В.Д. Кузнецова
Национального исследовательского Томского государственного университета,
г. Томск, Россия
E-mail: kharenkof@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.06.12.

Харенков Владимир Александрович, мл. науч. сотр.;
Донченко Валерий Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор, зам. директора;
Землянов Алексей Анатольевич, к. ф.-м.н., доцент, зав. лабораторией;
Панамарев Николай Семёнович, ведущ. программист.