

УДК 631.373.8: 535.34.08

Бубис Е.Л., Мартынов В.О., Сергеев А.С., Мамаев Ю.А.

Институт прикладной физики РАН, Россия,
Россия, Нижний Новгород, Ульянова, 46, E-mail: bel@appl.sci-nnov.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА САМОВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЗРАЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ФОКУСИРОВКЕ ПРОСТРАНСТВЕННО ФАЗОМОДУЛИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СЛАБОПОГЛОЩАЮЩУЮ СРЕДУ

Исследован эффект самовизуализации прозрачных объектов и структур при фокусировке фазомодулированного в пространстве лазерного пучка в протяженную слабопоглощающую среду. Определены границы условий фокусировки для наблюдения объектов. Вследствие адаптивности представленного процесса, в отличие от классического, визуализация будет иметь место в ситуациях, приводящих к смещению (блужданию) пучка как целого в фурье-плоскости, например, в условиях тепловых потоков или при прохождении стратифицированной среды. Реализован процесс визуализации также в оптически толстом плексиглазе.

Классический метод фазового контраста широко используется для наблюдения (визуализации) прозрачных локализованных объектов и структур [1 – 6]. Для преобразования фазовой модуляции, вносимой исследуемым объектом в освещающий пучок, в амплитудную, в фокальной плоскости объектива (фурье-плоскости) устанавливается фазовый экран (фильтр Цернике), вносящий селективный сдвиг $\theta = \pm\pi/2$ между нулевой и высшими пространственными частотами, участвующими в формировании изображения данного объекта. В методе нелинейного фазового контраста расфазировка пространственных частот осуществляется в кубично-нелинейной среде (нелинейном фильтре Цернике), расположенной также в фурье-плоскости, где пространственные гармоники разделены [4, 7 – 15]. По сравнению со схемами, использующие линейные ячейки Цернике это более гибкие адаптивные схемы, а требуемый сдвиг фаз достигается путем выбора соответствующей интенсивности света, поступающей в нелинейную среду. Процесс визуализации фазовых объектов в схемах с тонкими фототермическими фильтрами был реализован в [10 – 14]. В данной работе сообщается о реализации визуализации прозрачных объектов в схеме с протяженной (оптически толстой) слабопоглощающей средой на тепловом механизме нелинейности. Использование протяженной среды, не только снижает требуемую мощность, необходимую для расфазировки пространственных частот, но и делает процесс полностью адаптивным, т.е. независимым не только от угла падения освещающего луча, но и от положения фокальной области внутри среды. Это особенно важно при визуализации крупных фазовых объектов, размеры которых сравнимы с размерами освещающего пучка и в условиях, приводящим к блужданию пучка в фурье-области. Эффективное преобразование фазовой модуляции с хорошим качеством визуализированного изображения прозрачной структуры имеет место в небольшом диапазоне мощностей освещающего лазерного пучка, а сам эффект самовизуализации при распространении световых пучков в слабопоглощающих протяженных средах, несомненно, является новым эффектом. В области малых величин тепловых изменений показателя преломления среды величина нелинейного набега фаз недостаточна для требуемого

рассогласования и соответственно эффективной визуализации, а при больших нелинейных набегах качество визуализированного изображения портится из-за сильного теплового самовоздействия освещающего прозрачный объект лазерного пучка в среде. По аналогии с эффектом самовоздействия данный эффект может называться эффектом самовизуализации. Распространяясь в слабопоглощающей среде, сфокусированный в нее пучок сам меняет фазовые соотношения между пространственными гармониками, участвующими в формировании изображения, в результате чего, при определенной мощности (энергии) происходит эффективная визуализация фазовых неоднородностей (структур) в нем присутствующих. Время установления эффекта определяется из соотношения $\tau \approx d^2 / 4\chi$, где d – максимальный размер греющего пучка в среде, $\chi \approx 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 / \text{сек}$ – коэффициент температуропроводности, например, для воды и $\chi \approx 2 \cdot 10^{-1} \text{ см}^2 / \text{сек}$ для воздуха.

Схема наблюдения эффекта описана в [14]. Прозрачные объекты, расположенные в плоскости объекта ОР освещались гауссовым пучком одномодового линейно-поляризованного He – Ne лазера мощностью $P \leq 6 \text{ мВт}$, длиной волны $\lambda = 0,63 \mu\text{м}$. или зеленой лазерной указки $\lambda = 0,53 \mu\text{м}$, $P \leq 30 \text{ мВт}$. Регулировка мощности излучения осуществлялась за счет поворота призмы Глана вокруг своей оси. Мощность света измерялась калориметром ИМО-2М. Прошедшее через объект излучение фокусировалось объективом L в середину кюветы, заполненной этиловым спиртом или водой с добавлением поглотителя. Величина потерь на поглощение подбиралась $\alpha l \approx 0,2 - 0,6$. Здесь α – коэффициент поглощения среды, l – ее длина. Использовались кюветы длинами $l = 1 - 300 \text{ мм}$. На экране, расположенном в плоскости изображения IP на расстоянии до 10 метров от объектива визуализированные изображения исследуемых прозрачных объектов фотографировались цифровым фотоаппаратом или в прямом пучке фотоаппаратом без объектива. На рис. 1 представлено визуализированное изображение нецерниковского фазового объекта - ребра бипризмы Френеля. В этом эксперименте самовизуализация происходила в свете зеленой лазерной указки мощностью 25 мВт в кювете с неочищенной сырой водой длиной 37 см. Время “проявления” изображения составляло единицы секунд.

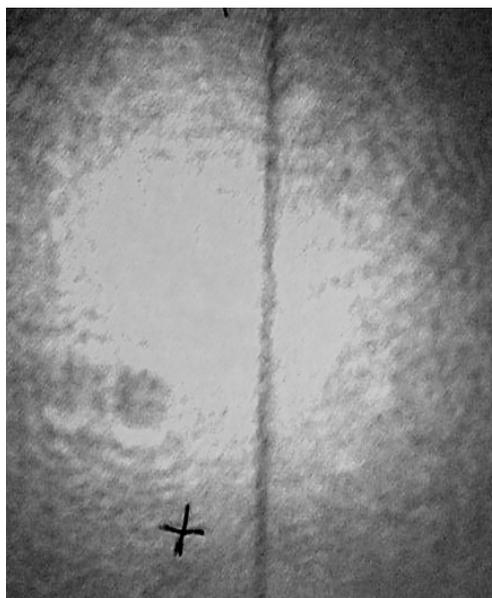


Рис. 1.

Вследствие того, что эффект самовизуализации не зависит от угла падения освещающего луча и от положения фокальной области внутри среды он может быть осуществлен в условиях реальной атмосферы, даже при тепловых потоках, приводящих к

смещению перетяжки пучка в фурье плоскости как целого. Учитывая линейность преобразования, проверяемая автором, в частности, при фототермических процессах [5], схемы, построенные на основе эффекта самовизуализации могут быть использованы также для прецизионной диагностики и измерений слабых флуктуаций плотности газовых, в том числе и плазменных сред.

Работа поддержана грантом НШ 4690.2006.2.

Список литературы

1. **Борн М, Борн Э.** Основы оптики, Изд-во М. “Наука”, 1973, 720 с.
2. **Франсон М.** Фазово-контрастный и интерференционный микроскопы. М., 1954, 180с.
3. **Рытов С.М.** УФН, 1950, т.XLI, вып.4, с.425-451.
4. **Воронцов М.А., Корябин М.А., Шмальгаузен В.И.** Управляемые оптические системы. М.Наука,1988.
5. **Бабин А.А., Бубис Е.Л., Лошкарев В.В и др.** Квант.электр. **28**, №8,738 (1998); Альтшуллер В.М., Бубис Е.Л.,Шубин С.В. Фазоконтрастный метод измерения слабого оптического поглощения. Препринт ИПФ РАН № 241, Нижний Новгород, 1989.
6. **Zharov V.P., Galitovsky V., Viegas M.** Appl.Phys. Lett. **83**, N. 24, 4897 (2003).
7. **Чернега Н.В., Бреховских Г.Л., Кудрявцева А.Д. и др.** Квант.электр,16, 2530 (1989).
8. **Vorontsov M.A., Justh E.W., Beresnev L.A.** J. Opt. Soc. Am. A **18**, 1289 (2001)
9. **Komorowska K.et al.** J.of Appl.Phys., **92**, 5635 (2002).
10. **Treviño-Palacios C.G. et al.** Appl.Opt., **42**,5091(2003).
11. **Бубис Е.Л.** Препринт ИПФ РАН № 698, Нижний Новгород – 2006.
12. **Бубис Е.Л, Матвеев А.З.** Письма в ЖТФ, **33**, №11, 8 (2007).
13. **Бубис Е.Л.** Письма в Ж Т Ф, **34**, №12, 29 (2008)
14. **Бубис Е.Л.** ПТЭ, №1, 119(2009)
15. **Pushpa A. K. et al.** Appl. Opt., **48** (28) 5259 (2009).
16. **Бубис Е.Л.** Квантовая электрпоники.,т.41(2011).