



УДК 535.421: 681.7

Е.Л. Бубис¹, А.И. Корыгин¹, А.Н. Степанов^{1,2}, Ю.А. Мальков¹,
А.А. Мурзанев¹, Д.А. Яшунин¹

¹ Институт прикладной физики РАН, Россия,
603950, г. Нижний Новгород, Ульянова ул., 46, E-mail: bel@appl.sci-nnov.ru
² ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 603950, г. Нижний Новгород, Россия,
пр. Гагарина 23, step@appl.sci-nnov.ru

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГАЗОВОГО МИКРОПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

АННОТАЦИЯ

Описан процесс визуализации газового микропотока в фазоконтрастной схеме при фокусировке фемтосекундного излучения непосредственно в воздух в условиях керровской нелинейности. В его основе лежит идеология классического метода фазового контраста Цернике. Предварительные результаты показывают, что визуализация имеет место при мощностях освещающего лазерного пучка порядка критической мощности самофокусировки.

ПРОЗРАЧНЫЕ ОБЪЕКТЫ, НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА, АТМОСФЕРА, ФАЗОВЫЙ КОНТРАСТ ЦЕРНИКЕ

ВВЕДЕНИЕ

При распространении излучения, в частности, сфокусированного, в нелинейной среде (в условиях самовоздействия) происходят его искажения, мешающие качественной передаче изображения исследуемого объекта. Однако на пороге самовоздействия, в области небольших значений V -интеграллов, в случае нахождения нелинейной среды в Фурье-плоскости оптической системы, где пространственные гармоники разделены, селективный нелинейный набег фаз может быть использован для визуализации и инверсии объектов, подобно набегу фаз $\theta = \pm\pi/2$ при использовании классической фазовой пластинки в микроскопе Цернике [1 – 4]. Этот нелинейный процесс наблюдался при использовании нелинейных фильтров (см. [5 – 17] и имеющиеся там ссылки). В последних случаях процесс является адаптивным, вследствие того, что требуемый фазовый набег между нулевой и высшими пространственными гармониками, участвующими в формировании изображения объекта, слабо зависит от угла падения на объектив оптической системы [3]. В представленной работе сообщается о наблюдении процессов визуализации и инверсии изображений объектов при прохождении сфокусированного фемтосекундного излучения непосредственно через протяженную нелинейную атмосферу, что представляют интерес в вопросах передачи и формирования изображения через нелинейную атмосферу.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Схема наблюдения эффекта представлена на рис. 1.

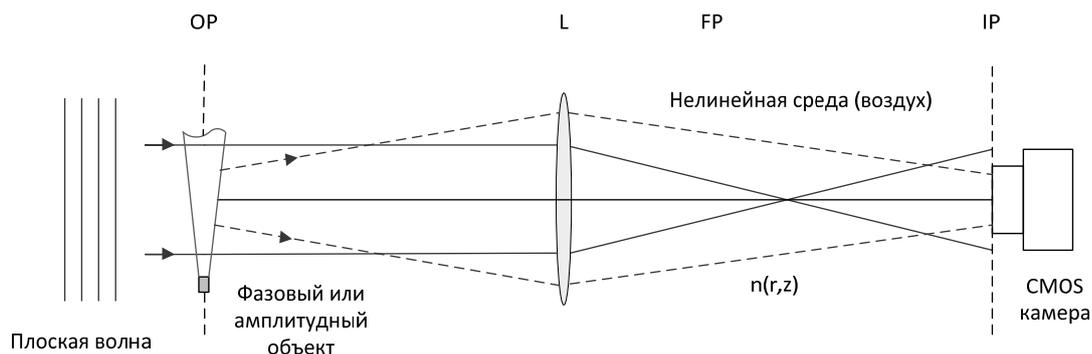


Рис.1. OP – предметная плоскость, L – (Фурье) линза, FP – Фурье плоскость, IP – плоскость наблюдения, $n(r, z)$ – распределение показателя преломления в среде

Объекты, расположенные в плоскости объекта OP освещались гауссовым пучком одномодового линейно-поляризованного титан-сапфировый лазера. Фемтосекундное лазерное излучение (энергия импульса < 1 мДж, длительность – 50 фс, длина волны – 800 нм, частота следования импульсов – 1 кГц) генерировалось системой усиления чирпированных импульсов, состоящей из генератора (модель «MaiTai», фирма «Spectra-Physics») и регенеративного усилителя (модель «Spitfire», фирма «Spectra Physics»). Диаметр пучка по уровню $1/e^2$ во всех экспериментах составлял 8,4 мм. Модель использовавшейся камеры – Motion Pro x3. CMOS камера позволяла снимать изображения в режиме отдельного выстрела. Размер пикселя камеры 12 мкм.

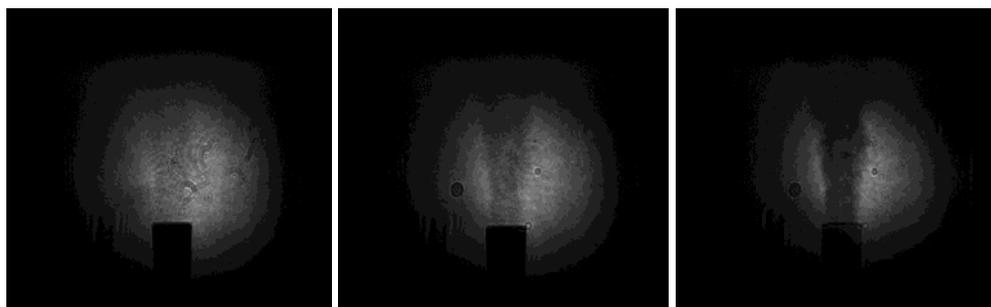


Рис.2. Визуализированные изображения газовых микропотоков газа Не

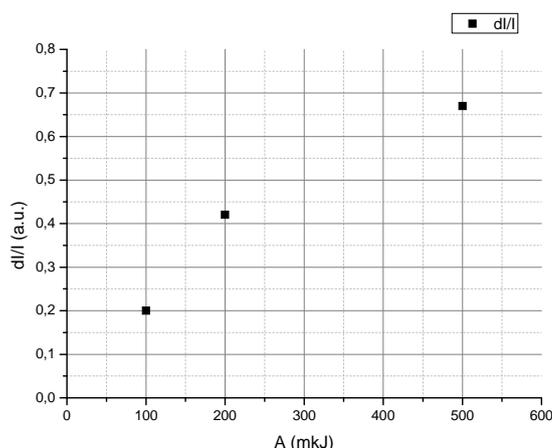


Рис.3. Зависимость контрастности визуализации потока от падающей энергии импульса, пропорциональной нелинейной фазе Цернике

В эксперименте наблюдалась также инверсия изображения непрозрачного объекта и существенное ухудшение видимости (рис. 4) при изменении энергии падающего импульса,

что также находится в рамках метода Цернике. При использовании подобных схем с фильтрами Цернике на других типах нелинейности эффект инверсии наблюдался в [5, 9, 16].

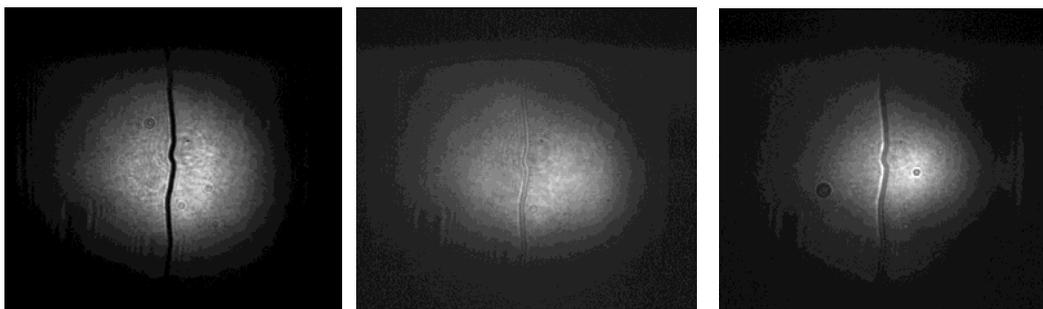


Рис.4. Существенное ухудшение видимости

В представленной геометрии процессы сопровождались пробоем, происходившими после лазерного импульса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные эксперименты показывают на возможность использования фемтосекундного лазерного излучения для визуализации газовых микропотоков и других прозрачных структур. Предварительные оценки показывают, что требуемый уровень мощности для реализации процессов находится в пределах критической мощности самофокусировки излучения в воздухе [18 – 19].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят РФФИ за финансовую поддержку работы (грант № 15-02-08212).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Born M., Wolf E.** Principles of Optics 7th ed. Cambridge, 2002.
2. **Скворцов Г.Е., Панов В.А., Поляков Н.И., Федин Л.А.** Микроскопы. Изд-во «Машиностроение» 1969, 512 с.
3. **Воронцов М.А., Корябин М.А., Шмальгаузен В.И.** Управляемые оптические системы. М. Наука, 1988.
4. **Бойко В.М., Оришич А.М., Павлов А.А., Пикалов В.В.** Методы оптической диагностики в аэрофизической эксперименте Новосибирск: НГУ, 2009. 450с.
5. **Чернега Н.В., Бреховских Г.Л., Кудрявцева А.Д.** и др. Преобразование амплитудно-фазовых характеристик сфокусированного лазерного излучения с помощью нелинейно-оптических явлений в ацетоне и жидком азоте // Квант.электр., 1989. 16, 2530.
6. **Vorontsov M.A., Justh E.W., Beresnev L.A.** Adaptive optics with advanced phase-contrast techniques. High-resolution wave-front sensing. // J. Opt. Soc. Am., 2001. A **18**, 1289.
7. **Komorowska K.** et al. Self-induced nonlinear Zernike filter realized with optically addressed liquid crystal spatial light modulator // J. of Appl. Phys., 2002. 92, 5635.
8. **Pappas-Aguilar R., Ramirez-San-Juan J.C., Baldovino-Pantaleón O.** et al Polarization-controlled contrasted images using dye-doped nematic liquid crystals // Optics Express, 2009. V. 17. № 5. P. 3417-3423.
9. **Pavlov A., Pavlov A., Golubev M.** Some aspects of Schlieren technique sensitivity increasing // 16-th Int. Simp. on Application Laser Technique to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, 2012.
10. **Goy Alexandre and Psaltis Demetri** Digital reverse propagation in focusing Kerr media // Phys. Rev. A 83, 031802 (R), 2011.

11. Бубис Е.Л. Эффект самовизуализации прозрачных объектов и структур при фокусировке пространственно-фазомодулированного лазерного излучения в слабопоглощающую среду // Квантовая электроника, 2011. Т. 41. № 6. С. 568.
12. Бубис Е.Л., Матвеев А.З. Анализ процесса визуализации прозрачных объектов при использовании фазоконтрастного метода с фототермической ячейкой Цернике // Квантовая электроника, 2012. Т. 42. № 4, С. 361-366.
13. Бубис Е.Л. Использование термокапиллярного самовоздействия для визуализации фазовых объектов // Письма в Журнал технической физики, 2008. Т. 34. № 12. С. 29-31.
14. Bubis E.L. The effect of phase object imaging in focusing of spatially phase-modulated laser beams on a weakly absorbing extended medium// Proc. SPIE, 2010. V. 7994. P. 69941I.
15. Бубис Е.Л., Гусев С.А., Кожеватов И.Е., Мартынов В.О., Степанов А.Н. К применению адаптивного фазоконтрастного метода с нелинейными фильтрами. // Успехи прикладной физики, 2013. Т. 1. № 4. С. 408-409.
16. Бубис Е.Л., Гусев С.А., Ложкарев В.В., Мартынов В.О., Степанов А.Н. Метод получения инвертированного изображения // Приборы и техника эксперимента, 2014. № 5. С. 113-114.
17. Бубис Е.Л., Будаговский И.А., Золотко А.С. и др. Переключение знака контрастности изображения при использовании нелинейного жидкокристаллического фильтра // Труды IV Межд. конф. по фотонике и информац. оптике (FIO2015), М.: НИЯУ МИФИ, 2015. С. 358-359.
18. Букин О.А., Быкова Е.Е., Гейнц Ю.Э. и др. Филаментация острогофокусированного ультракороткого лазерного излучения на 800 и 400 нм. Измерения нелинейного коэффициента преломления воздуха // Оптика атмосферы и океана, 2011. Т. 24. № 5. с. 351.
19. Liu W. and Chin S.L. Direct measurement of the critical power of femtosecond Ti:sapphire laser pulse in air // Optics Express, 2005. V. 13. №. 15. P. 5750- 5755.

E.L.Bubis¹, A.I.Kopytin¹, AN Stepanov^{1,2}, YA Malkov¹,
A.A.Murzanev¹, D.A.Yashunin¹

¹ *Institute of Applied Physics RAS, Russia, 603950, Nizhny Novgorod , 46 Ul'yanov Street,
E-mail: bel@appl.sci-nnov.ru*

² *Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 603950, Gagarin Street , 23,
E-mail: step@appl.sci-nnov.ru*

Visualization process of the gas microflow in phase contrast scheme with focused femtosecond radiation directly into the Kerr nonlinearity air is described. It is based on the ideology of the classical method of Zernike phase contrast. Preliminary results show that the visualization takes place at the power of the illuminating laser beam order of the critical self-focusing power.

TRANSPARENT OBJECTS, NONLINEAR OPTICS, ATMOSPHERE, PHASE CONTRAST
ZERNIKE