

03;07

Использование термокапиллярного самовоздействия для визуализации фазовых объектов

© Е.Л. Бубис

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
E-mail: bel@appl.sci-npov.ru

Поступило в Редакцию 8 ноября 2007 г.

Получена визуализация фазовых объектов при отражении излучения лазера от слоя поглощающей жидкости, расположенного в фурье-плоскости оптической системы, выполняющего роль нелинейного фильтра Цернике. Для работы схемы требовалась мощность освещающего объект пучка менее $500 \mu\text{W}$.

PACS: 42.30.-d, 42.65.-k, 47.55.dm

В настоящее время исследуются фазоконтрастные схемы визуализации прозрачных (фазовых) объектов с использованием нелинейных ячеек (фильтров) Цернике. Это полностью оптические, адаптивные схемы, в существенно меньшей степени по сравнению с классическими [1] нуждающиеся в юстировке оптической системы (all-optical, self-adaptive phase contrast imaging technique). Концепция нелинейных ячеек Цернике как нелинейно-оптических устройств для анализа фазы световой волны была предложена в [2]. Хорошие визуализированные изображения были получены в схемах с ячейками, реализованными на основе фоторефрактивных кристаллов, пленок бактериородопсина, а также жидких кристаллов (см., например, [3,4] и имеющиеся там ссылки). В [4–6] визуализация прозрачных объектов осуществлялась с ячейками, работающими на тепловом типе нелинейности. В данной работе визуализация осуществлена при отражении лазерного излучения, несущего информацию об объекте, от тонкого слоя поглощающей жидкости, расположенного в фурье-плоскости оптической схемы, выполняющего роль не просто зеркала, но и эффективного фазового корректора, осуществляющего требуемый для фазоконтрастных схем сдвиг фаз между нулевой и высшими пространственными частотами $\theta \approx \pm\pi/2$, участвующими в формировании изображения исследуемого

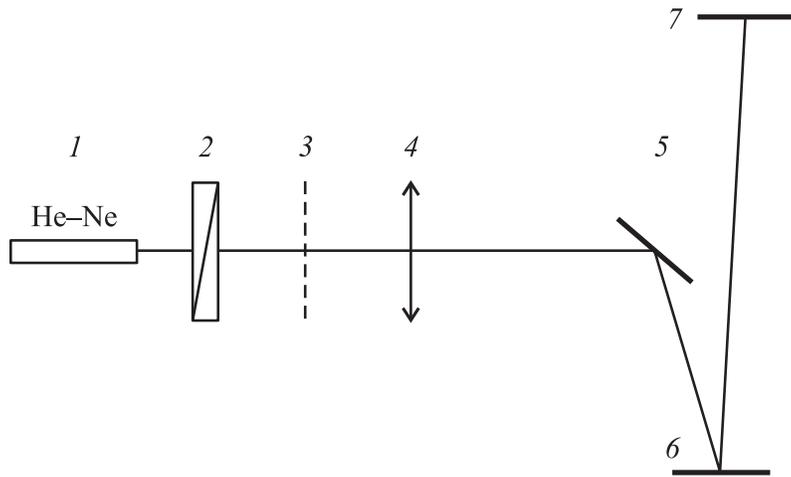


Рис. 1. Схема эксперимента.

прозрачного объекта. Здесь процесс также обусловлен поглощением света, однако необходимая разность хода и, следовательно, разбаланс фаз осуществляются за счет отражения пространственных гармоник от различных по глубине, вследствие различия их мощности, ими же индуцированных термокапиллярных углублений (эффект термокапиллярного самовоздействия [7–9]). Эффективная визуализация происходит при уровнях падающей на поверхность жидкости мощности, вызывающей не более одного кольца в общем случае абберационной картины отраженного излучения для сильной нулевой гармоники, вследствие термокапиллярной самофокусировки, и составляет в данных экспериментах менее $500 \mu\text{W}$.

Схема эксперимента представлена на рис. 1.

В качестве источника излучения 1 использовался одномодовый He–Ne-лазер ($\lambda = 0.63 \mu\text{m}$; мощность 5 mW) с линейной поляризацией. Для регулировки мощности использовалась призма Глана 2, поворачивающаяся вокруг своей оси. Мощность пучка измерялась калориметром ИМО-2М. За счет свободного пробега пучок расширялся и поступал на исследуемый фазовый объект, расположенный в предметной

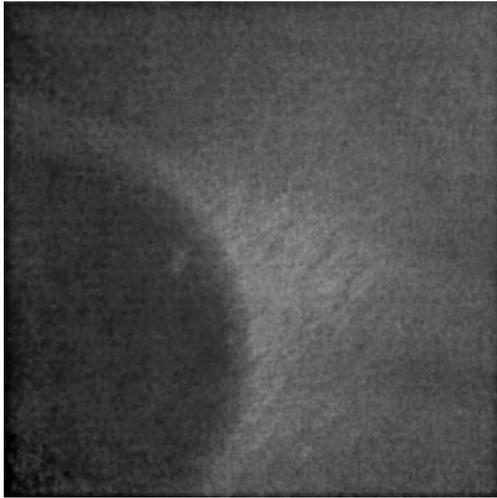


Рис. 2. Визуализированное изображение прозрачного диска на стеклянной подложке.

плоскости 3 на небольшом расстоянии от линзы 4, строящей его изображение в плоскости 7. Фокусное расстояние линзы $F = 35$ см. Отразившись от зеркала 5, пучок почти нормально падал в чашечку Петри 6 с тонким, сильнопоглощающим слоем нефти ($\lambda = 0.63 \mu\text{m}$, $\alpha = 120 \text{cm}^{-1}$). Коэффициент поглощения среды измерялся в слое толщиной $90 \mu\text{m}$. В плоскости изображения 7 изображение объекта 3 фотографировалось цифровым фотоаппаратом. Коэффициент отражения слоя (по мощности) составлял $R \approx 4\%$. На рис. 2 показана фотография визуализированного изображения прозрачного кружка пленки CrO_2 , частично перекрывающего лазерный пучок (толщина пленки 80nm ; $n = 1.86$; диаметр $\approx 1 \text{mm}$), напыленной на плоскопараллельной кварцевой подложке („затмение“). Ввиду того что оптическая толщина пленки была близка к $\lambda/4$, модуляция визуализированного изображения на фотографии была практически полной, что соответствует теории. На рис. 3 показана фотография визуализированного изображения перекрестия двух бипризм Френеля (угол при вершине $\approx 0.01 \text{rad}$) в

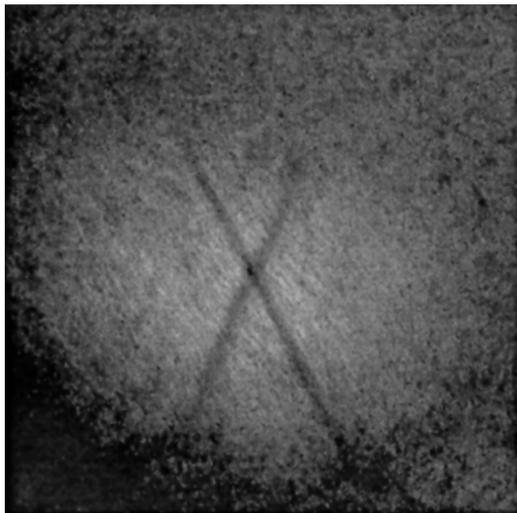


Рис. 3. Визуализированное изображение ребер перекрестий двух бипризм Френеля.

виде буквы X, что указывает на возможность использования данного процесса в системах обработки информации.

Таким образом, в данной работе впервые получена визуализация прозрачных объектов в фазоконтрастной схеме при отражении от светоиндуцированной профилированной структуры поверхности жидкости при субмилливатной мощности падающего света, соответствующей начальной стадии развития термокапиллярной самофокусировки. Отметим также, что в отличие от схемы с фототермической ячейкой, где имеет место отрицательный контраст, в данном случае контраст — положительный, т.е. положительные вариации добавки фазы в исследуемом объекте дают положительные изменения интенсивности в картине изображения, что в целом дает возможность реализации дифференциальных схем.

Работа поддержана грантом НШ-4690.2006.2.

Список литературы

- [1] Скворцов Г.Е., Панов В.А., Поляков Н.И., Федин Л.А. Микроскопы. Л.: Машиностроение, 1969.
- [2] Воронцов М.А., Корябин А.В., Шмальгаузен В.И. Управляемые оптические системы. М.: Наука, 1988.
- [3] IturbeCastillo M.D., Sanchez-de-la-Llave D., Ramos Garsia R. et al. // Optical Engineering. 2001. V. 40. N 11. P. 2367–2368.
- [4] Chandra S. Yellestrarapu, Sri-Rajasekhar Kothapalli, Francisoo J. Aranda et al. // Appl. Phys. Lett. 2006. V. 89. P. 211116-1–211116-3.
- [5] Бубис Е.Л., Матвеев А.З. // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. В. 11. С. 8–12.
- [6] Babis E.L., Matveev A.Z. // Proc. SPIE. 2007. V. 6729.
- [7] Da Costa G. // Phys. Lett. 1980. V. 80A. N 4. P. 320–322.
- [8] Víznyuk S.A., Rastropov S.F., Sukhodol'skii A.T. // Opt. Commun. 1989. V. 71. N 5. P. 239–242.
- [9] Безуглый Б.А., Тарасов О.А. // Опт. и спектр. 2002. Т. 92. В. 4. С. 665–670.