

ФАЗОКОНТРАСТНАЯ СХЕМА С ФОТОТЕРМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКОЙ ЦЕРНИКЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

© 2012 г. Е. Л. Бубис, С. А. Гусев*, И. Е. Кожеватов**, В. О. Мартынов, А. Г. Санин, С. Е. Стукачев, А. В. Шишков

Институт прикладной физики РАН

Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

**Институт физики микроструктур РАН*

Россия, 607680, Нижний Новгород, ул. Академическая, 7

***Научно-исследовательский радиофизический институт*

Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12а

E-mail: bel@appl.sci-nnov.ru

Поступила в редакцию 17.10.2012 г.

Стоячая ультразвуковая волна визуализирована методом фазового контраста с использованием фототермической ячейки Цернике. Визуализация с хорошим качеством реализуется без расширения и коллимации зондирующего пучка.

В ряде работ (см. [1–5] и имеющиеся в них ссылки) описан процесс визуализации прозрачных объектов с применением фазоконтрастных схем, использующих фототермические ячейки (фильтры) Цернике. Фототермическая ячейка устанавливается в фурье-плоскости объектива вместо классической ячейки Цернике. Схемы, использующие фототермические (нелинейные) фильтры Цернике, в меньшей степени нуждаются в настройке и легко перестраиваемы. Вследствие неоднородного нагрева в ячейке при определенной мощности зондирующего излучения формируется неоднородный профиль показателя преломления, приводящий к расфазировке пространственных частот $\Delta\varphi \approx \pm\pi/2$ в первом порядке и визуализации изображения объекта.

В данной работе метод применен для визуализации важного фазового объекта — ультразвуковой решетки. В отличие от сложных объектов с резкими краями, визуализация которых данным мето-

дом может быть выполнена в некоторой степени неидеально [4, 5], визуализация слабого ультразвука (простого фазового синусоидального объекта), как показано численными расчетами [5], происходит без искажений. Кроме того, в отличие от темнопольного метода [6], имеющего квадратичный отклик, представленный метод, являясь фазоконтрастным, обладает линейным откликом к фазовым возмущениям и, следовательно, является более чувствительным.

В эксперименте использовалась однолинзовая схема формирования изображения с поглощающей ячейкой, расположенной в фокальной плоскости объектива [1–4]. Визуализация проводилась в геометрии нормального падения лазерной волны на ультразвуковой слой (рис. 1). Перенос и визуализация ультразвуковой волны осуществлялись из $2f$ в $2f$ (аналогично [6, с. 355]).

В качестве фототермической ячейки в этом эксперименте мы использовали пластинку из окра-

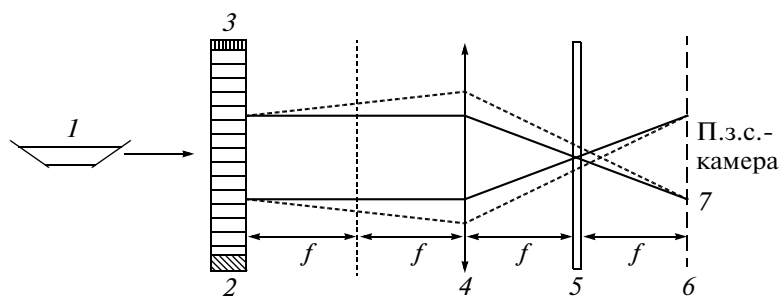


Рис. 1. 1 — He–Ne-лазер; 2 — ультразвуковой излучатель; 3 — отражающая звук стеклянная пластинка; 4 — линза с фокусным расстоянием $f = 20$ см; 5 — плексигласовая пластинка; 6 — плоскость изображения (штриховая линия).

шенного плексигласа 5, расположенную в фокусе линзы 4. По сравнению с жидкостными [2–4] твердотельные (полимерные) ячейки [1] более просты в эксплуатации, хотя и требуют в ~3–5 раз большей мощности освещающего пучка.

Полимерные среды используются в качестве фототермического фильтра ввиду относительно высокой величины важного для этого процесса параметра – температурной производной показателя преломления $dn/dT \cong 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$ [7]. Ультразвуковой слой просвечивался излучением He–Не лазера 1 (см. рис. 1). Лазерный одномодовый пучок (длина волны $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$) специально не расширялся и не коллимировался. Требуемая мощность светового луча для визуализации составляла ~5 мВт.

Акустическая волна создавалась в стеклянном аквариуме с водой пьезоэлектрическим излучателем 2, запитываемым от кварцевого генератора. Частота ультразвуковой волны составляла 2.5 МГц, акустическое давление в прямой волне ~50 кПа. Отраженная волна образовывалась при отражении прямой волны от стеклянной пластинки 3, установленной почти нормально по отношению к падающей волне.

Визуализированное изображение регистрировалось п.з.с.-камерой в плоскости изображения ультразвукового слоя. Изображение можно также наблюдать глазом на дополнительном экране б (штриховая линия), установленном в плоскости изображения (в общем случае с увеличением), и фотографировать цифровым аппаратом (аналогично [2]).

Рис. 2а демонстрирует визуализацию стоячей ультразвуковой волны. Наведенная ультразвуковой волной решетка показателя преломления и соответственно наблюдаемая картина быстро пульсируют во времени с удвоенной частотой ультразвуковой волны (см., например, [8]). Рис. 2б соответствует выдвинутой плексигласовой пластинке 5 (фототермического фильтра Цернике) из фурье-плоскости линзы и соответственно отсутствию визуализации. При убиении отражающей пластинки, как и следовало ожидать, картинка замывалась. При перекосе отражающей пластины визуализированное изображение соответственно поворачивалось.

Отметим, что описанный метод работоспособен и, по-видимому, может быть использован и для визуализации более низкочастотного ультразвука, когда применение классических методов вследствие близости порядков дифракции в фурье-плоскости затруднено. Физически это связано с тем, что при использовании данной мето-

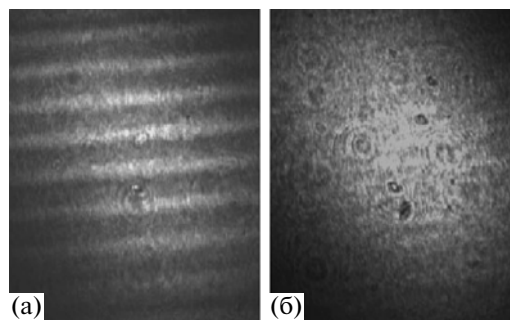


Рис. 2. а – визуализированное изображение ультразвуковой волны; б – светлое поле, полученное с выдвинутым фототермическим фильтром (отсутствие визуализации).

дики достаточно небольшой разницы в масштабе освещающего пучка и периода ультразвука, чтобы визуализация происходила автоматически, что будет лишь приводить к увеличению требуемой мощности лазерного освещающего луча. Расчеты процесса визуализации периодических синусоидальных фазовых объектов [5] показывают их хорошее качество.

В заключение отметим, что предложенный процесс визуализации является разновидностью интерферометрии, когда интерферируют нулевая и более высокие пространственные гармоники. Используя методологию, развиваемую, в частности, в [9], описанный метод может быть использован для детектирования весьма слабых акустических полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Treviño-Palacios C.G., Iturbe-Castillo M.D., Sanchez-de-la-Llave D. et al. // Appl. Opt. 2003. V. 42. P. 5091.
2. Бубис Е.Л. / ПТЭ. 2009. № 1. С. 119. (Bubis E.L. // ИЕТ. 2009. V. 52. № 1. P. 108.)
3. Бубис Е.Л., Гусев С.А. // Труды ОМИП. М.: Изд. дом МЭИ, 2009. С. 518.
4. Бубис Е.Л.// Квантовая электрон. 2011. Т. 41. № 6. С. 568.
5. Bubis E.L., Matveev A.Z. // Proc. SPIE. 2007. V. 6729. P. 82.
6. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984.
7. Барашков Н.Н., Сахно Т.В. Оптически прозрачные полимеры и материалы на их основе. М.: Химия, 1992.
8. Алешкевич В.А. Оптика. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 2010.
9. Кожеватов И.Е., Силин Д.Е., Руденчик Е.А. и др.// Изв. вузов. Радиофизика. 2007. Т. 50. № 7. С. 638.