

В.Г. Гусев

## Запись и воспроизведение голограммы Габора для формирования в диффузно рассеянных полях интерференционных картин

Томский государственный университет

Поступила в редакцию 26.10.2000 г.

Показано, что интерферометр, использующий диффузно рассеянный свет, чувствителен к астигматизму линзы.

В [1] было показано, что проведение одноэкспозиционной записи голограммы сфокусированного изображения амплитудного рассеивателя по схеме Габора позволяет получить интерференционную картину в полосах равной толщины, характеризующую сферическую aberrацию линзы (объектива), которая используется для построения действительного изображения рассеивателя. С одной стороны, образование интерференционной картины обусловлено корреляцией субъективных спекл-полей в (-1) и (+1) порядках дифракции в дальней зоне. С другой стороны, характер суперпозиционных спекл-полей приводит к увеличению чувствительности интерферометра к сферической aberrации в два раза по сравнению с известными классическими двулучевыми интерферометрами. Результаты исследований в [2] показали, что использование двухкомпонентной оптической системы (зрительная труба Кеплера) для формирования действительного изображения амплитудного рассеивателя при записи голограммы по схеме Габора также обеспечивает возможность контроля сферической aberrации оптической системы.

В настоящей работе рассматривается метод записи голограммы сфокусированного изображения амплитудного рассеивателя, который позволяет регистрировать интерференционную картину, характеризующую астигматизм линзы, используемой для построения изображения рассеивателя.

Как представлено на рис. 1, запись голограммы по схеме Габора осуществляется с помощью когерентного излучения с квазиплоской формой волны, которое используется для освещения амплитудного рассеивателя 1, т.е. в общем случае, как и в [1, 2], полагается, что имеет место наличие фазовых искажений волны, обусловленных, например, aberrациями оптической системы, формирующей волновой фронт. Рассеянное излучение с когерентным фоном, прошедшее светоделитель 2, положительную контролируемую линзу 3, отражается от зеркала 4. Отраженный световой поток проходит через линзу 3, отражается от светоделителя 2 и регистрируется на фотопластинке 5, находящейся в плоскости построения действительного изображения рассеивателя 1.

После фотографической обработки голограмма восстанавливается, как и в [1, 2], с помощью когерентного источника света, используемого на стадии ее записи, с регистрацией интерференционной картины в дальней зоне дифракции при проведении пространственной фильтрации дифракционного поля с помощью, например, круглого от-

верстия в непрозрачном экране на оптической оси в плоскости голограммы.

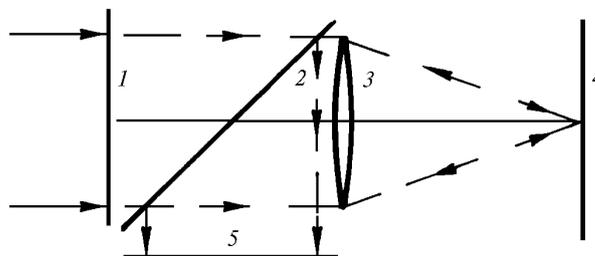


Рис. 1. Схема записи голограммы Габора: 1 – амплитудный рассеиватель; 2 – светоделитель; 3 – контролируемая линза; 4 – зеркало; 5 – фотопластинка

Так как построение изображения рассеивателя на рис. 1 осуществляется в результате выполнения двух последовательных преобразований Фурье, то на основании [2] можно определить комплексную амплитуду пропускающей голограммы. Затем на стадии ее восстановления положим для сокращения записи, что регистрация распределения освещенности в задней фокальной плоскости проводится с помощью линзы с фокусным расстоянием  $f$ , равным фокусному расстоянию контролируемой линзы. Тогда в плоскости  $(x, y)$  наблюдения (без учета поворота светового потока светоделителем) распределение освещенности принимает вид

$$I(x, y) \sim [1 + \cos 4\varphi(x, y)] |F(x, y) \otimes P(x, y)|^2, \quad (1)$$

где  $\varphi(x, y)$  – фазовая функция, характеризующая aberrации контролируемой линзы;

$$F(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t(-x_0, -y_0) \exp \left[ -\frac{ik}{f} (x_0 x + y_0 y) \right] dx_0 dy_0$$

– Фурье-образ амплитуды поглощения рассеивателя, являющейся случайной вещественной функцией координат;  $x_0, y_0$  – координаты плоскости фотопластинки-голограммы;  $k$  – волновое число;

$$P(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x_0, y_0) \exp \left[ -\frac{ik}{f} (x_0 x + y_0 y) \right] dx_0 dy_0$$

– Фурье-образ функции  $p(x_0, y_0)$  пропускания непрозрачного экрана с круглым отверстием [3].

Из выражения (1) следует, что субъективная спекл-структура промодулирована интерференционными полосами равной толщины из-за aberrаций контролируемой линзы. При этом, как и в [1,2], дифрагирующие квазиплоские волны для  $(-1)$  и  $(+1)$  порядков в плоскости Фурье, которые обуславливают формирование интерференционной картины, повернуты вокруг оптической оси на  $180^\circ$  по отношению друг к другу, что позволяет исключить из рассмотрения погрешности волнового фронта из-за асимметричных aberrаций.

Кроме того, как и в случае классического интерферометра Тваймана–Грина [4], использование прямого и обратного прохождений светового потока через контролируемую линзу включает ее сферическую aberrацию. Тогда в плоскости наилучшей фокусировки при записи голограммы фазовая функция  $\varphi(x, y)$  в выражении (1) соответствует астigmatизму контролируемой линзы.

В эксперименте для записи и восстановления голограммы использовалось излучение He–Ne-лазера на  $0,63$  мкм. Голограммы записывались на фотопластинках типа Микрат-ВРЛ. В качестве примера на рис. 2,а представлена интерференционная картина, характеризующая астigmatизмом линзы 3 (см. рис. 1) с величиной коэффициента  $C = 0,5\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны когерентного источника света, используемого для записи и восстановления голограммы (добавочная составляющая сферической aberrации обусловлена aberrациями голограммы). Фокусное расстояние контролируемой линзы диаметром  $18$  мм равнялось  $160$  мм. Регистрация интерференционной картины осуществлялась в фокальной плоскости объектива с фокусным расстоянием  $80$  мм при проведении пространственной фильтрации дифракционного поля в плоскости голограммы путем ее восстановления малоапертурным ( $\approx 2$  мм) лазерным пучком.

Интерференционная картина, локализуемая в плоскости зрачка контролируемой линзы, характеризует указанный тип aberrации при условии выполнения записи голограммы в плоскости наилучшей фокусировки. При отступлении от этого условия изменяется вид ин-

терференционной картины на рис. 2,а из-за дефокусировки. Так, рис. 2,б соответствует случаю проведения записи голограммы на расстоянии  $0,9$  мм от плоскости наилучшей фокусировки, и интерференционная картина характеризует сочетание астigmatизма и дефокусировки.

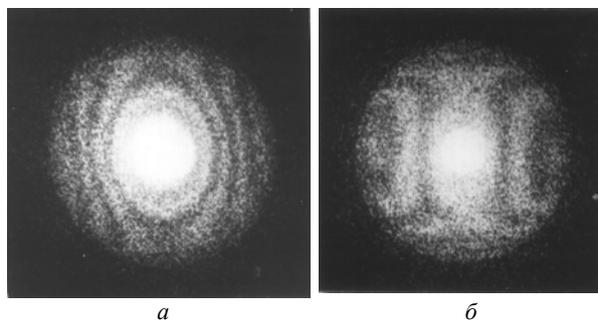


Рис. 2. Интерференционные картины, зарегистрированные при установке фотопластинки: а – в плоскости наилучшей фокусировки; б – вне плоскости наилучшей фокусировки

В заключение следует отметить, что рассмотренный интерферометр обеспечивает формирование в диффузно рассеянных полях интерференционной картины в плоскостях равной толщины, характеризующей астigmatизмом контролируемой линзы. Для его создания нет необходимости в получении анаберрационного волнового фронта сравнения. Кроме того, в отличие от классического двухлучевого интерферометра чувствительность предлагаемого интерферометра в два раза выше из-за того, что природа образования интерференционной картины заключена в суперпозиции квазиплоских обращенных волн, дифрагирующих в  $(-1)$  и  $(+1)$  порядках.

1. Гусев В.Г. // Оптический журнал. 1998. Т. 65. № 2. С. 36–40.
2. Гусев В.Г. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 7. С. 901–909.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 846 с.
4. Hariharan P., Sen D. // Proc. Phys. Soc. 1961. V. 77. P. 328–334.

*V.G. Gusev. Record and reconstruction of Gabor hologram for formation in scattered light of interference patterns.*

It is shown, that the interferometer using scattered light is sensible to astigmatism of a lens.