

УДК 535.317.1:778.38

П.Д. КУХАРЧИК, В.М. СЕРДЮК, И.А. ТИТОВИЦКИЙ

МИНИМИЗАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ОПТИЧЕСКИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ

The optimal conditions of composite objects holographing applied to the holographic tomographic systems with reconstruction in the optical range are determined on the basis of the approximate holographic-image diffraction aberration theory, established by the authors earlier.

В методах рентгеновской, ультразвуковой и СВЧ-томографии непосредственная визуализация внутренней структуры исследуемого объекта осуществляется посредством анализа множества различных его плоских сечений [1]. Более перспективным представляется анализ объемного изображения сразу всего объекта, т. е. использование голографического метода представления томографической информации. Однако исследуемые объекты обычно непрозрачны, и их приходится просвечивать с помощью рентгеновского, СВЧ-излучения или ультразвука, длина волны которого во много раз отличается от длины световых волн, используемых затем для визуализации полученной информации. Основной проблемой здесь является уменьшение сильных искажений, или аберраций изображения объекта, которые неизбежно возникают, если длины волн записывающего λ_0 и восстанавливающего λ излучений значительно различаются между собой [2]. Общая теория таких аберраций построена в работе [3] для стандартной модели записи и считывания плоской амплитудной голограммы точечного источника. В данной работе на основе результатов [3] рассматривается возможность уменьшения аберраций за счет выбора конкретной схемы голографического эксперимента.

Применительно к голограмме сложного объекта, состоящего из множества точек-источников, необходимо исключить такие аберрации, которые проявляются как неоднородное изменение масштабов изображения. Рассмотрим функциональные зависимости координат точек изображения (индекс i) от координат точек объекта (индекс S) [2, 3] и потребуем их пропорциональности:

$$(\partial / \partial x_S)(x_i / x_S) = (\partial / \partial y_S)(y_i / y_S) = (\partial / \partial z_S)(z_i / z_S) = 0.$$

Эти условия выполняются, если координаты опорного восстанавливающего источника (индекс C) связаны с координатами опорного записывающего источника (индекс R) следующим образом:

$$x_C = x_R; \quad y_C = y_R; \quad z_C = \pm m z_R, \quad (1)$$

где плоскость xOy совпадает с плоскостью голограммы, $m = \lambda_0/\lambda$. Если aberrациями третьего порядка пренебречь, то координаты точек-изображений будут связаны с координатами объектных точек соотношениями [2, 3]:

$$x_i = x_S; \quad y_i = y_S; \quad z_i = \pm m z_S. \quad (2)$$

Аберрационные поправки к координатам точек-изображений (2) обычно вычисляются при рассмотрении поля не в самой точке наблюдения, а в области изображения [4]. При этом качество воспроизведения изображения точечного объекта может быть охарактеризовано одним скалярным параметром [3], так называемым параметром aberrаций ν_a , который при условиях (1), (2) будет равен:

$$\nu_a = \pm \pi H_x^2 [(y_S^2 - x_S^2 + q)z_S^{-3} - (y_R^2 - x_R^2 + q)z_R^{-3}] (1 - m^{-2}) / \lambda_0. \quad (3)$$

Здесь $q = (H_y^2 - H_x^2)/6$; $2H_x$ и $2H_y$ – линейные размеры голограммы по осям x и y (предполагается, что $H_y > H_x$).

Имеет место следующая закономерность [3]: пока параметр ν_a невелик ($|\nu_a| < 3$), профиль интенсивности поля изображения точки имеет явно выраженный центральный максимум и мало отличается от его профиля в отсутствие aberrаций ($\nu_a = 0$), однако при $|\nu_a| > 3,5$ резко возрастают боковые максимумы и вид кривой профиля интенсивности будет соответствовать визуальному наблюдению уже не одной, а нескольких точек.

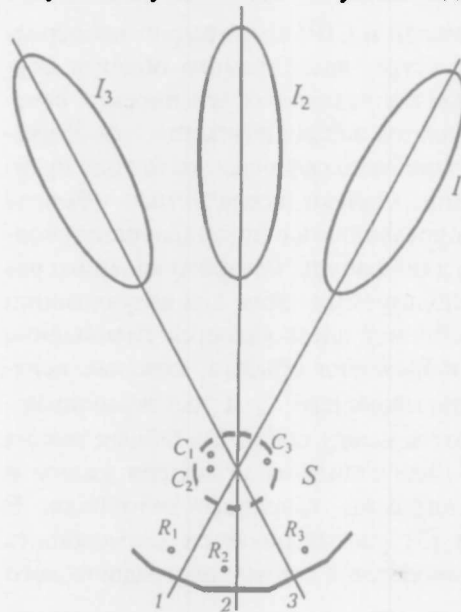


Схема голографирования протяженного объекта составной голограммой с синтезированной апертурой:

I_1, I_2, I_3 – отдельные плоские голограммы, R_1, R_2, R_3 и C_1, C_2, C_3 – опорные записывающие и восстанавливающие точечные источники, S – объект, I_1, I_2, I_3 – его изображения

Для схемы, определяемой соотношениями (1), поперечные координаты изображения без учета малых aberrационных поправок совпадают с поперечными координатами исходного объекта независимо от длины волны λ восстанавливающего излучения, однако в продольном направлении изображение оказывается растянутым и удаленным от голограммы в m раз, что затруднит визуальное наблюдение боковых поверхностей объекта. Чтобы преодолеть этот недостаток, можно использовать голограммы, составленные из множества отдельных голограмм – плоских пластинок, центры которых размещаются на поверхности 2-го порядка, например сфере (рисунок). Каждая такая отдельная голограмма дает возможность визуально изучать лицевую относительно данной пластинки поверхность объекта, а применение составной голограммы позволит наблюдать его поверхность с

различных ракурсов. Однако при этом необходимо, чтобы каждый элемент составной голограммы имел свой отдельный опорный источник и его излучение не попадало на поверхность остальных голограмм. Можно рассчитать оптимальное положение этого источника с точки зрения минимизации

аббераций пространственной структуры изображения. Пусть исходный объект выпуклый. Тогда удобно свести к минимуму искажения для точек изображения с поперечными координатами $x_S=0$, $y_S=0$ в координатной системе каждой отдельной голограммы. Это значит, что параметр аббераций (3) должен обращаться в нуль для $x_S=0$, $y_S=0$, т. е. поперечные координаты опорного источника должны удовлетворять условию:

$$y_R - x_R = (H_y^2 - H_x^2)(z_R^3/z_S^3 - 1)/6.$$

Пусть, к примеру, $z_R = z_S/2$. Тогда последнему условию удовлетворяют такие поперечные координаты опорного источника: $y_R^2 = 7H_x^2/48$; $x_R^2 = 7H_y^2/48$, отсчитываемые от центра каждой прямоугольной голограммы.

Таким образом, один из оптимальных путей уменьшения аббераций голографотомографического изображения и повышения его качества – использование так называемой синтезированной приемной апертуры, когда регистрирующая среда в совокупности представляет собой множество элементарных плоских голограмм, составляющих сложную пространственную поверхность.

1. Левин Г.Г., Вишняков Г.Н. Оптическая томография. М., 1989.
2. Милер М. Голография. Л., 1979.
3. Кухарчик П.Д., Сердюк В.М., Титовицкий И.А. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 82. № 2. С. 335.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973.

Поступила в редакцию 24.11.2001.

Петр Дмитриевич Кухарчик – доктор технических наук, профессор, ректор Академии управления при Президенте Республики Беларусь.

Владимир Михайлович Сердюк – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НИИ ПФП.

Иосиф Антонович Титовицкий – кандидат технических наук, заведующий лабораторией радиоголографии НИИ ПФП.

УДК 621.373

И.М. ГУЛИС, К.А. САЕЧНИКОВ

ВКР-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА LiIO_3 С СИНХРОННОЙ НАКАЧКОЙ

The generation schemes and parameters of Stokes SRS (stimulated Raman scattering) pulses in LiIO_3 -based SRS-lasers synchronously pumped by picosecond pulses of a passively mode-locked AYG:Nd³⁺ laser in the intra- and extracavity pump mode have been compared. The profiles of pump and SRS-pulses have been analyzed depending on the mismatch of the cavity lengths. The possibility for a considerable reduction of SRS-pulse duration relative to that of the pump pulses has been demonstrated. A mechanism underlying the formation of SRS-pulse profile has been considered.

В работах [1] описан твердотельный лазер на АИГ:Nd³⁺ с непрерывной накачкой и пассивной синхронизацией мод, в котором кристалл LiIO_3 внутри резонатора выполняет одновременно две функции: комбинационно-активной среды и нелинейного преобразователя частоты (в нем происходит суммирование компонент вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) с излучением основной частоты), в результате чего на выходе при соответствующих ориентациях кристалла вырабатывается излучение видимого диапазона спектра. Исследования структуры цугов пикосекундных импульсов показали [2], что цуг ВКР резко укорочен по сравнению с цугом