

УДК 621.373 :535

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ РАСSEЯННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Суханов И. И.

Показано, что вывод некоторых экспериментальных работ о низкой пространственной когерентности диффузно-рассеянного лазерного излучения объясняется нарушением условий применимости формулы, связывающей модуль степени когерентности с параметрами интерференционной картины, при измерениях когерентности спеклов щелевым интерферометром Юнга. Для корректного измерения пространственной когерентности необходимо использовать интерферометр, у которого диаметр входных отверстий намного меньше характерного размера спекла.

В некоторых экспериментальных работах делается вывод о низкой пространственной когерентности излучения, рассеянного шероховатой поверхностью [1] или молочным стеклом [2]. Покажем, что это объясняется нарушением условий применимости формулы, связывающей модуль степени когерентности с параметрами интерференционной картины, при измерениях когерентности спеклов щелевым интерферометром Юнга.

Кратко рассмотрим корреляционные характеристики лазерного излучения. Пусть монохроматическая волна, распространяющаяся в направлении оси z , падает на амплитудно-фазовый транспарант. Прошедшая волна будет иметь сложное амплитудно-фазовое распределение

$$E(\mathbf{r}, z, t) = A(\mathbf{r}, z) \exp[i\omega t + i\varphi(\mathbf{r}, z)], \quad \mathbf{r} = \{x, y\}. \quad (1)$$

Подставляя (1) в формулу для степени когерентности [3]

$$\gamma(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, z_1, z_2) = \frac{\langle E(\mathbf{r}_1, z_1, t) E^*(\mathbf{r}_2, z_2, t) \rangle}{\sqrt{\langle |E(\mathbf{r}_1, z_1, t)|^2 \rangle \langle |E(\mathbf{r}_2, z_2, t)|^2 \rangle}}, \quad (2)$$

где угловые скобки означают усреднение по времени, нетрудно показать, что $|\gamma(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, z_1 = z_2)| \equiv 1$ для любых $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$. В частности, пространственно когерентно-монохроматическое поле, прошедшее диффузный рассеиватель [4]. Действительно, пространственное распределение поля за рассеивателем $E(\mathbf{r}, z) = A(\mathbf{r}, z) \exp[i\varphi(\mathbf{r}, z)]$ стационарно, между двумя любыми точками поля существуют не зависящие от времени амплитудно-фазовые соотношения, несмотря на «хаотическую» структуру распределения $E(\mathbf{r}, z)$.

Квазимонохроматическое излучение ($\Delta\omega/\omega \ll 1$) набора продольных мод TEM_{00q} лазера или в более общем случае излучение поперечных мод TEM_{mnq} с одинаковым пространственным распределением полей ($m, n = \text{const}$) полностью когерентно [5-7]. При диффузном рассеянии многомодового пучка пространственные распределения рассеянных монохроматических полей также будут одинаковыми, если размер пучка a_n на рассеивателе много больше периода корреляции шероховатости. Следовательно, и рассеянное излучение мод mnq ($m, n = \text{const}$) будет полностью когерентным, конечно, в области, определяемой продольной длиной когерентности.

Рассмотрим особенности измерения когерентности интерферометром Юнга. Выражение для $|\gamma(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)|$ через видность V и интенсивности пучков I_1, I_2 в плоскости регистрации Q интерференционной картины

$$|\gamma(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)| = V(Q) \frac{I_1(Q) + I_2(Q)}{2\sqrt{I_1(Q)I_2(Q)}} \quad (3)$$

справедливо при условии малости изменения поля по площади входных отверстий интерферометра с центрами в точках $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$. В плоскости Q период интерференционных полос должен быть мал по сравнению с сечением дифрагировавших пучков [3]. Необходимо также достаточное пространственное разрешение полос в плоскости Q .

Распределение интенсивности невозмущенного пучка эрмит-гауссовых мод симметрично относительно некоторых плоскостей xz, yz . По этой причине во многих экспериментах когерентность продольных мод *oog* измеряют интерферометром, у которого входные отверстия заменены щелями, либо вместо интерферометра Юнга используют двухлучевые интерферометры со сдвигом волнового фронта [8]. Формула (3) в этом случае остается справедливой. По-видимому, она справедлива и для произвольной суперпозиции мод ТЕМ_{mnq}(x, y), если входные щели или направление сдвига волнового фронта параллельны узловым линиям мод. Очевидный случай — это измерение когерентности суперпозиции мод *moq* или *onq*, когда щели интерферометра параллельны осям y или x соответственно.

Однако формула (3) несправедлива, если указанная ориентация интерферометра относительно пучка нарушается. Это можно объяснить тем, что при несовпадающих распределениях интенсивности вдоль щелей интенсивность в минимуме интерференционной картины, точнее интеграл от интенсивности по площади щели в плоскости регистрации, никогда не доходит до нуля даже в случае полной когерентности пучка. Следовательно, измеренное значение $|\gamma|$ будет всегда меньше истинного. Очевидно разница будет тем больше, чем сильнее различаются интенсивности вдоль входных щелей.

При измерениях когерентности диффузно рассеянного лазерного излучения в [1, 2] использовался щелевой интерферометр, причем его входная плоскость располагалась непосредственно за рассеивателем. В результате поле по площади щелей оказывается промодулированным по фазе, а интерференционная картина представляет собой не регулярную систему полос, а набор пятен. Ясно, что для регистрации интерференции использовать щель, как в [2], нельзя. Высокое значение $|\gamma| \approx 1$ для нерассеянного излучения, полученное в [1, 2], не может служить калибровочным, поскольку при переходе к рассеянному излучению нарушаются все три условия применимости формулы (3) для выбранной оптической схемы. С учетом вышесказанного представляется недостаточно обоснованным вывод [2], что уменьшение $|\gamma|$ в исследованном диапазоне оптической плотности молочных стекол вызвано многократным рассеянием, хотя в принципе этот фактор при ненулевой ширине спектра имеет место.

Таким образом, для корректного измерения когерентности диффузно рассеянного излучения лазера следует использовать интерферометр Юнга, у которого диаметр входных отверстий много меньше характерного размера спекла $\lambda l/a_n$, где l — расстояние от плоскости рассеивателя до входной плоскости интерферометра.

Вместе с тем необходимо отметить, что на практике не требуются данные о детальной структуре $|\gamma(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)|$ — 4-мерной функции координат x_1, y_1, x_2, y_2 , тем более для поля со сложным пространственным распределением. Достаточно знать соотношение между размером пучка a_n и радиусом пространственной корреляции ρ_k — характерным расстоянием $|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|$, на котором $|\gamma|$ заметно уменьшается. Если $\rho_k \gg a_n$, то поле когерентно, если $\rho_k \leq a_n$ — частично когерентно. Измерение же $|\gamma|$ в нескольких точках $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$ дает мало информации, поскольку для частично когерентного пучка подбором $\mathbf{r}_1/a_n, \mathbf{r}_2/a_n$ можно получить любое значение $|\gamma|$ от 0 до 1. В этом отношении представляет интерес метод прямого измерения ρ_k по статистическим контрасту и видности интенсивности спеклов, возникающих при рассеянии исследуемого поля [9]. При исследовании рассеяния пучка мод *mnq* установлено, что усредненные характеристики спеклов определяются только отношением ρ_k/a_n и не зависят от угла рассеяния, размеров и распределения интенсивности в падающем пучке [10].

Литература

- [1] Таганов О. К., Топорец А. С. — Опт. и спектр., 1976, т. 40, в. 4, с. 741—746.
- [2] Войшвилло Н. А., Щербакова Н. И., Процышин И. В. — ОМП, 1984, № 5, с. 1—4.
- [3] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973, с. 471.
- [4] Goodman J. W. — Proc. Soc. Photo-Optical Instr. Engineers, 1979, v. 194, p. 86—94.
- [5] Bertolotti M. e. a. — Nuovo Cimento, 1965, v. 38, N 4, p. 1504—1514.
- [6] Csillag L., Janossy M., Kantor K. — Phys. Lett., 1966, v. 20, N 6, p. 636—637.
- [7] Morley D. e. a. — Brit. J. Appl. Phys., 1967, v. 18, N 12, p. 1419—1422.
- [8] Мирзаев А. Т., Рахвалов В. В., Степанов В. А. Обзоры по электронной технике, 1979, сер. 4, № 1 (622).
- [9] Fujii H., Asakura T. — Nouv. Rev. d'Optique, 1975, v. 6, N 1, p. 5—14.
- [10] Суханов И. И. — Автометрия, 1983, № 3, с. 58—62.

Поступило в Редакцию 19 июня 1985 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скоринны