

А. В. ГНАТОВСКИЙ, А. П. ЛОГИНОВ, Н. В. МЕДВЕДЬ,
М. В. НИКОЛАЕВ, член-корреспондент АН УССР М. Т. ШПАК

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД МУЛЬТИПЛИКАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

Проблема создания источников лазерного излучения с синтезированной структурой пучка является в настоящее время одной из актуальных задач современной когерентной оптики.

В настоящем сообщении рассматривается вопрос о расщеплении лазерного пучка с произвольным волновым фронтом на несколько эквивалентных вторичных пучков с улучшенными пространственно-угловыми характеристиками, в частности с уменьшенной расходимостью каждого из них. Известно, что традиционные методы мультипликации изображений, включая голографический, не всегда дают желаемый результат, так как каждое изображение повторяет исходный лазерный пучок, сохраняя все присущие ему недостатки, связанные со сложной поперечно-модовой структурой.

Более перспективным представляется использование интерферометрического метода преобразования волновых полей, который был успешно применен для коррекции излучения газовых лазеров [1]. В этом методе предложено использовать для формирования пучка с заданной структурой два дифракционных элемента. Первый из них — модулятор волнового фронта, проводит предварительное расщепление пучка на ряд вторичных. Второй, например киноформ или голограмма, воздействует

на фазу вторичных пучков и преобразует их таким образом, чтобы обеспечить интерференционную картину заданной конфигурации.

Пусть система, корректирующая лазерное поле с поперечной структурой $L(\xi, \eta)$, состоит из модулятора и голограммы. Из уравнения голограммы следует, что поле в дальней зоне первого дифракционного порядка описывается выражением

$$w(x, y) \sim \iint_{-\infty}^{\infty} t^*[(\xi + \beta x), (\eta + \beta y)] t(\xi, \eta) L(\xi, \eta) \exp\left[i \frac{k}{f}(x\xi + y\eta)\right] d\xi d\eta, \quad (1)$$

где $t(\xi, \eta)$ — коэффициент пропускания модулятора; $\beta = \frac{d}{f}$, где d — расстояние от модулятора до голограммы; f — фокусное расстояние объектива, в фокальной плоскости которого ведется наблюдение $((x, y)$ — пространственные координаты в плоскости наблюдения). Из (1) следует, что поле $L(\xi, \eta)$ определяется в основном величиной $t(\xi, \eta)$, точнее, ее пространственной автокорреляционной функцией. Если $L(\xi, \eta)$ достаточно гладкая функция по сравнению с $t(\xi, \eta)$, то можно ожидать, что значение $w(x, y)$ будет в незначительной степени зависеть от конкретного вида конфигурации исходного лазерного поля $L(\xi, \eta)$.

Для интересующего нас случая мультипликации лазерных пучков с улучшенными пространственно-угловыми характеристиками в качестве модулятора можно использовать фазовую дифракционную решетку с коэффициентом пропускания

$$t(\xi) = \exp\left(i \frac{\mu}{2} \sin 2\pi v \xi\right) \operatorname{rect}\left(\frac{\xi}{R}\right), \quad (2)$$

где μ — глубина фазового рельефа. Поле лазерного излучения выбираем в виде простых поперечных «одномерных» мод с произвольным индексом [2]

$$L(\xi) = c_0 H_m(c_1 \xi) \exp\left(-\frac{c_1^2}{2} \xi^2\right) \exp\left\{i \left[c_2^2 \xi^2 - (1+m) \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \right]\right\}. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получаем после интегрирования выражение для интенсивности в преобразованном пучке:

$$I(x) \sim \sum_{p=-\infty}^{\infty} J_p^2(\mu \sin \pi v \beta x) H_m^2 \left[- \left(\frac{b}{2k} \right)^{1/2} \left(\frac{kx}{f} - 2\pi p v \right) \right] \times \\ \times \exp \left[- \frac{b}{2k} \left(\frac{kx}{f} - 2\pi p v \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой набор порядков, сдвинутых друг относительно друга вдоль оси x на величину $a = \frac{2\pi v f}{k}$. Внутренняя структура p -го порядка определяется формой лазерного поля $L(x)$, промодулированного соответствующим множителем $J_p(\mu \sin \pi v \beta x)$, причем с ростом p интенсивность соответствующего порядка быстро убывает. Рассмотрим наиболее интенсивный нулевой член суммы (4)

$$I_0(x) = J_0^2(\mu \sin \pi v \beta x) \exp\left(-\frac{bk}{2f^2} x^2\right) H_m^2 \left[- \left(\frac{bk}{2f} \right)^{1/2} \frac{x}{f} \right]. \quad (5)$$

Проанализировав это выражение, видим, что предложенная двухэлементная преобразующая система позволяет получить перераспределение энергии внутри сечения лазерного пучка, причем структура поля в преобразованном пучке будет определяться пространственной автокорреляционной функцией модулирующей дифракционной решетки, которая

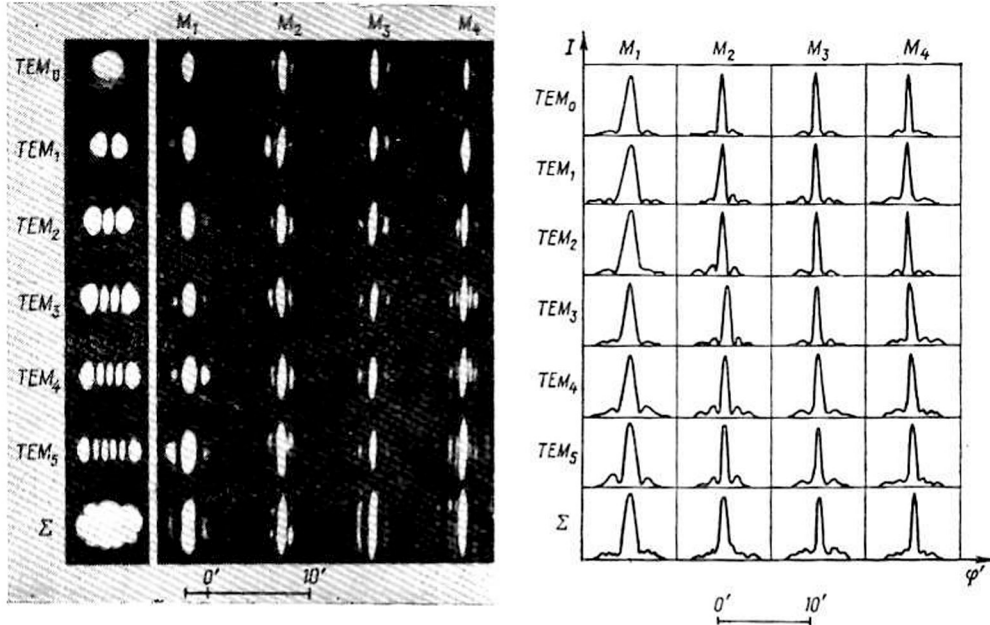


Рис. 1. Управление расходимостью скорректированного пучка с помощью различных модуляторов.

Рис. 2. Фотоэлектрическая запись распределения энергии в пучках, изображенных на рис. 1.

представляет собой набор периодически расположенных острых максимумов, расстояние между которыми $\Delta x = \frac{2}{\nu\beta}$. При этом число максимумов в пределах сечения лазерного пучка определяется соотношением

$$N = \frac{D\nu d}{2} + 1, \quad (6)$$

где D — средний диаметр исходного лазерного пучка в плоскости модулятора. Соответствующим подбором значений параметров ν , μ и d можно в достаточно широких пределах управлять распределением интенсивности в преобразованном пучке (количеством максимумов, их взаимным расположением и угловыми размерами каждого).

Изложенные соображения были подтверждены экспериментально. В качестве модуляторов использовались дифракционные решетки с различными параметрами. Источником излучения служили пучки гелий-неонового и рубинового лазеров. В опытах использовались как плоские, так и объемные фазовые голограммы. На рис. 1 представлены результаты преобразования различных модовых структур при помощи четырех модуляторов с различными μ ($N=1$). Отчетливо видно сужение максимумов с увеличением глубины фазового рельефа модулирующей решетки. Полученные результаты не зависят от индекса поперечной моды. На рис. 2 приведено распределение энергии в пучках, которые соответствуют изображенным на рис. 1. При подборе модуляторов с дру-

гими параметрами возможно увеличение числа максимумов (рис. 3). Здесь приведены результаты для двух модуляторов с различными μ ; $N=5$. Отметим, что использование объемных голограмм наряду с повышением общего КПД преобразования позволяет при определенной настройке проводить дополнительное выделение тех или иных компо-

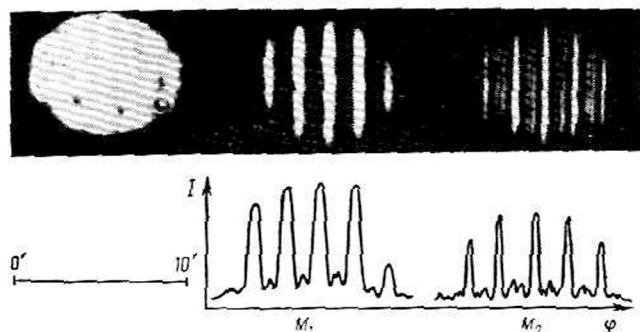
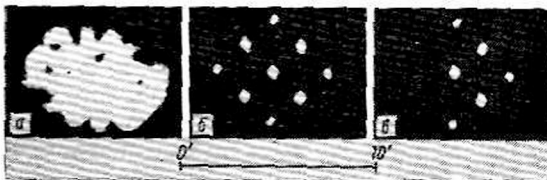


Рис. 3. Изменение числа мультиплицированных пучков двумя различными модуляторами.

нентов мультиплицированного излучения. На рис. 4 приведены результаты двумерной периодической мультипликации пучка с помощью объемной голограммы, причем при дополнительном повороте корректирующей голограммы удалось подавить ряд мультиплицированных пучков и создать новую конфигурацию скорректированного углового спектра.

Рис. 4. Двумерная мультипликация пучков из сложной моды с помощью объемной голограммы:

а — случай точной юстировки схемы;
б — подавление ряда пучков при повороте голограммы.



Можно предположить, что результаты, аналогичные приведенным на рис. 3, удастся получить и с помощью двух соответствующим образом подобранных фазовых решеток.

Полученные результаты указывают на перспективность предложенного метода для решения ряда задач, требующих формирования лазерных пучков с заданной пространственно-угловой структурой для целей голографии, оптической обработки информации, лазерной сварки материалов и т. п.

Л и т е р а т у р а

1. Гнатовский А. В., Логинов А. П., Селезнев В. В., Шпак М. Т. Интерферометрический метод коррекции выходных характеристик газовых ОКГ.—УФЖ, 1977, 22, № 8, с. 1418—1420.
2. Бойд Дж., Гордон Дж. Конфокальный резонатор со многими типами колебаний для квантовых генераторов оптического и миллиметрового диапазонов.—В кн.: Лазеры (под ред. Жаботинского М. Е. и Шмаонова Т. А.). М., Изд-во иностр. лит., 1963, с. 363—384.

Институт физики
АН УССР

Поступило
8.XII 1977 г.

A. V. GNATOVSKIJ, A. P. LOGINOV, N. V. MEDVED,
M. V. NIKOLAEV, M. T. SHPAK, Member Academy of Sciences, Ukrainian SSR

**INTERFEROMETRIC METHOD FOR LASER
BEAMS MULTIPLICATION**

Summary

A problem is considered on formation of the laser beam with a synthesized space-angular spectrum. The results are given showing the perspectiveness of using for this purpose a two-element optical circuit including the phase diffraction grating.