

УДК 535.41+621.375.826

*А. В. Гнатовский, А. П. Логинов, Н. В. Медведь*

**ХРОМАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ СИСТЕМ**

В работе сообщается о возможности улучшения пространственно-угловых характеристик когерентного излучения в широком спектральном диапазоне при помощи одной и той же корректирующей системы, включающей голограмму.

Использование голографического элемента в любой оптической системе приводит к значительному сужению спектральной области ее применимости, что связано с отсутствием регистрирующих сред, подходящих для записи качественных голограмм в широком диапазоне длин волн, в частности в ИК-области. В связи с этим становится актуальной задача создания широкодиапазонных перестраиваемых корректирующих схем, что позволит проводить запись голограммы излучением, наиболее подходящим для ее материала, и использование этих схем для коррекции излучения с произвольной длиной волны. Из общих соображений следует, что такую возможность можно реализовать при сохранении неизменным пространственного распределения амплитуды и фазы падающего на голограмму поля независимо от его длины волны. Для этого между источником излучения и голограммой необходимо поместить некоторый преобразующий поле оптический элемент с такими свойствами, чтобы изменение его параметров и изменение длины волны проходящего через него излучения одинаково влияли на пространственно-угловые характеристики преобразуемого поля. В частности, в случае фазовых дифракционных элементов (периодическая решетка, зонная пластинка и др.) такое преобразование выполняется при постоянстве отношения глубины рельефа к длине волны и пропорциональном изменении размеров дифракционных элементов или их взаимного расположения.

Ниже приводятся результаты коррекции угловых характеристик лазерного излучения интерферометрическим методом [1]. Этот метод основан на преобразовании излучения оптической системой, состоящей из пространственного модулятора волнового фронта  $M$  с коэффициентом пропускания  $t_0(x, y)$  и голограммы  $G$ , на которой записана дифракционная картина прошедшего через модулятор излучения. Оптическая схема записи такой голограммы приведена на рис. 1, а. Расширенный телескопом  $T$  когерентный пучок с длиной волны  $\lambda_0$  расщепляется зеркалом  $Z_1$  на два, один из них является опорным, а второй пропускается через модулятор  $M_0$  и интерферирует с опорной волной в плоскости  $G$ . Коррекция излучения с произвольным волновым фронтом  $L(x, y)$  происходит при пропускании его через полученную систему модулятор — голограмма (рис. 1, б). Угловой спектр скорректированного пучка наблюдается в фокальной плоскости объектива  $O$  (плоскость  $\mathcal{E}$ ).

Для упрощения расчетов рассмотрим задачу коррекции одномерных поперечных мод. В качестве модулятора используем одномерную

зонную пластинку с коэффициентом пропускания

$$t_0(x) = \exp\left(i \frac{\mu_0}{2} \sin \frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right), \quad (1)$$

где  $\mu_0 = 2\pi\delta_0 n / \lambda_0$  — глубина фазовой модуляции,  $\delta_0$  — геометрическая глубина рельефа,  $n$  — показатель преломления вещества модулятора,  $\sigma$  характеризует размеры дифракционных штрихов, а  $\text{rect}(x/a)$  определяет

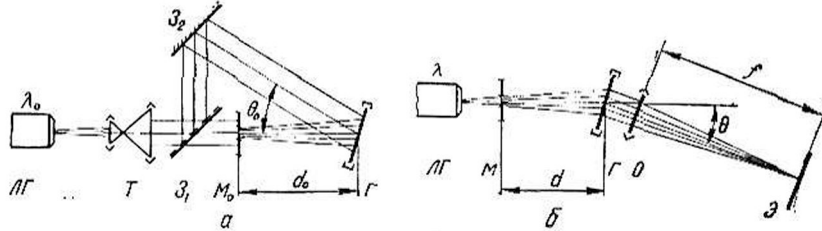


Рис. 1. Оптические схемы записи корректирующей голограммы (а) и коррекции лазерного излучения с произвольной длиной волны (б).

апертуру модулятора. Распределение интенсивности в угловом спектре скорректированного пучка определяется выражением

$$I(\xi) \sim \left| \int_{-a}^a \exp\left[-i \frac{\mu_0}{2} \sin \frac{(x + \beta\xi)^2}{2\sigma^2}\right] \times \right. \\ \left. \times \exp\left(i \frac{\mu_0}{2} \sin \frac{x^2}{2\sigma^2}\right) L_m(x) \exp\left(-i \frac{k}{f} x\xi\right) dx \right|^2 \quad (2)$$

с резким  $\delta$ -образным максимумом в точке  $\xi = 0$ , где  $L_m(x)$  соответствует простой поперечной моде с индексом  $m$  [2],  $\beta = d_0/f$ ,  $\xi$  — пространственная координата в плоскости  $\mathcal{E}$ .

При изменении длины волны корректируемого излучения соотношение (2) записывается в виде

$$I(\xi) \sim \left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-i \frac{\pi\delta_0 n}{\lambda_0} \sin \frac{x_1^2}{2\sigma^2}\right] \exp\left[i \frac{\pi\delta n}{\lambda} \sin \frac{x_2^2}{2\sigma^2}\right] L_m(x_2) \times \right. \\ \left. \times \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda_0 d_0} (x - x_1)^2\right] \exp\left[i \frac{\pi}{\lambda d} (x - x_2)^2\right] \times \right. \\ \left. \times \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda f} x\xi\right) dx_1 dx_2 dx \right|^2. \quad (3)$$

Здесь значения параметров  $\delta$  и  $d$  могут отличаться от значений  $\delta_0$  и  $d_0$  при записи голограммы (рис. 1, а, б).

Выражение (2) можно рассматривать как необходимое условие эффективной коррекции поля с помощью описанной системы. Чтобы уравнение (3) удовлетворяло этому условию, достаточно положить  $d = \epsilon d_0$  и  $\delta = \delta_0/\epsilon$ , где  $\epsilon = \lambda_0/\lambda$ . При этом в дальней зоне преобразованного пучка, направление которого теперь будет определяться углом  $\theta = \theta_0/\epsilon$ , восстановится  $\delta$ -образное распределение интенсивности. Отсюда следует, что соответствующим подбором параметров  $\delta$  и  $d$  можно «настроить» систему описанного типа на коррекцию поля с произвольной длиной волны.

В качестве источника излучения для записи корректирующей голограммы использовался гелий-неоновый лазер ЛГ-75 ( $\lambda_0=6328 \text{ \AA}$ ). Затем полученная система модулятор — голограмма применялась для коррекции полей со сложной поперечно-модовой структурой и различными длинами волн. На рис. 2 приведены результаты коррекции излучения гелий-кадмиевого ( $\lambda_1=4400 \text{ \AA}$ ) и гелий-неонового ( $\lambda_2=11\,500 \text{ \AA}$ ) лазеров. Видно, что полученные результаты практически идентичны для различных длин волн и незначительно зависят от поперечной структуры поля.

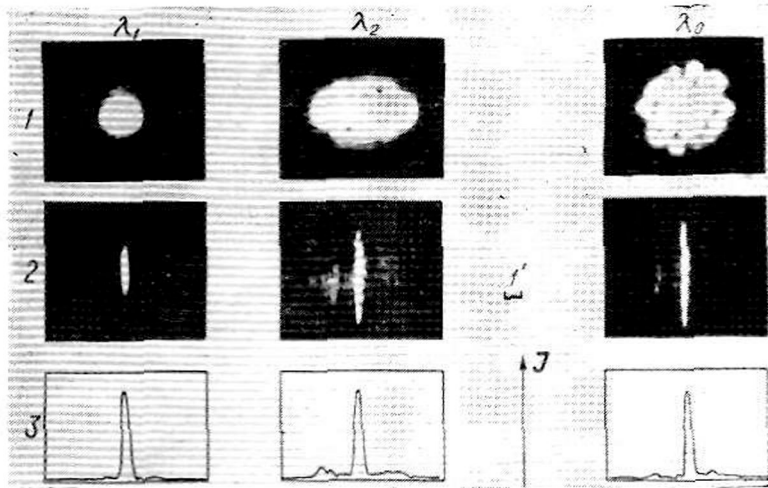


Рис. 2. Результаты коррекции лазерного излучения: 1,2— фотографии дальней зоны лазерных пучков до коррекции и после; 3— распределение интенсивности в скорректированных пучках.

При экспериментах модулятор и голограмма устанавливались на микроподвижках, что позволяло с высокой точностью изменять расстояние  $d$  между ними. Для изменения параметра  $\delta$  был изготовлен одномерный модулятор размерами  $35 \times 5$  мм и с переменной глубиной модуляции вдоль координаты  $y$ . Его рабочий участок, в пределах которого параметр  $\delta$  изменялся незначительно, выделялся диафрагмой  $4 \times 5$  мм. Вертикальное перемещение модулятора позволяло изменять глубину рельефа и компенсировать изменение длины волны корректируемого излучения.

Приведенные результаты подтверждают практически важную возможность создания универсальных широкодиапазонных корректирующих элементов. Они найдут применение при формировании направленных пучков вынужденного, а также спонтанного излучения в широкой спектральной области, включая ИК-диапазон.

#### ЛИТЕРАТУРА

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 миллиметрового и оптического диапазонов.— В кн.: Лазеры. Под ред. М. Е. Жаботинского и Т. А. Шмаонова. М., 1963, с. 363—384.

Институт физики АН УССР,  
г. Киев

Поступило в редакцию 9.XII 1977 г.,  
в окончательном варианте — 23.III 1978 г.