

А. В. Гнатовский, Н. В. Медведь, М. Т. Шпак

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПОЛЯ

*Рассмотрен метод улучшения пространственно-угловых характеристик поля на выходе многомодового волокна или жгута волокон при помощи двухэлементной корректирующей системы, которая состоит из пространственного модулятора волнового фронта и голограммы. Приведены экспериментальные результаты, иллюстрирующие возможность замены в ряде устройств одномодовых волокон на многомодовые волокна с корректирующей насадкой.*

Задача улучшения пространственных и угловых характеристик светового поля на выходе многомодовых волоконных элементов может быть успешно решена при использовании в двухэлементных корректирующих системах [1] метода статистической

Рис. 1. Угловая расходимость излучения и стабилизация формы диаграммы направленности на выходе многомодового волокна при различных условиях его возбуждения

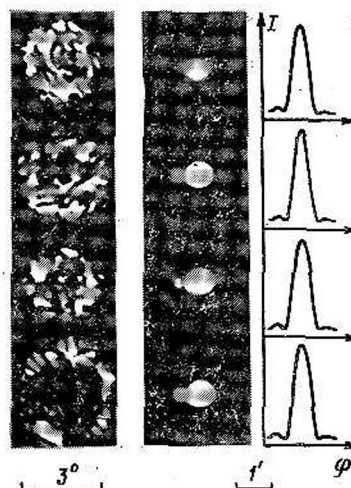
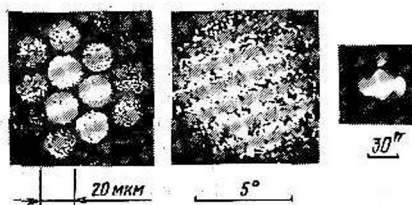


Рис. 2. Фотографии ближней и дальней зон световых полей на выходе волоконного жгута и результат уменьшения расходимости поля после коррекции



модуляции волнового фронта [2]. При этом оказывается возможным формировать пучки с малой расходимостью излучения заданным распределением энергии по сечению волнового фронта этих пучков. В этой связи рассмотрим механизм формирования скорректированного пучка при помощи двухэлементной корректирующей системы: модулятора волнового фронта (МВФ) и голограммы [2]. Корректируемый пучок пропускается через МВФ, который состоит из одинаковых мелких фазовых элементов. Угловой спектр поля, протифрагировавшего на таком МВФ, представляет собой набор статистически расположенных мелких пятен, причем их интенсивность промодулирована некоторой огибающей, форма которой определяется структурой МВФ и практически не зависит от поперечно-модового состава корректируемого пучка. Второй элемент системы — голограмма — дает полученному дифракционному полю форму волнового фронта опорного пучка.

Изменение пучка на входе такой системы приведет к изменению формы и расположения некоторых из мелких пятен дифракционного поля. Они могут попасть на участки голограммы с малой эффективностью преобразования и их энергия не будет вносить вклад в формирование скорректированного пучка, хотя форма огибающей в дифракционном поле и свойство голограммы обеспечивать форму волнового фронта опорного пучка для пятен, не меняющих своего местоположения, сохраняются. Различие в эффективности преобразования, связанное с различием корректируемых пучков, будет тем больше, чем сильнее различаются формы волнового фронта пучков при записи и восстановлении голограммы.

Нами было сделано предположение, что при всем различии поперечно-модовой структуры полей на выходе одного или нескольких многомодовых волокон их волновой фронт содержит общую составляющую, которая превалирует над изменениями фазы, связанными с условиями возбуждения волокон, их деформациями, размерами и т. д. Это давало основание рассчитывать на приемлемые значения эффективности преобразования при изменении структуры корректируемых пучков.

Такие соображения были экспериментально подтверждены. В опытах применялась оптическая схема, аналогичная описанной в [1, 3]. При записи голограммы пучок с подходящей формой волнового фронта пропускался через МВФ и интерферировал с опорным пучком. Восстановление голограммы проводилось полем после многомодового волокна, причем это поле пропускалось через тот же самый МВФ. Скорректированные пучки формируются в том дифракционном порядке голограммы, который совпадает по направлению с распространением опорного пучка и наблюдается в фокальной плоскости объектива, выполняющего фурье-преобразование поля после голограммы. Эти пучки содержат яркий центральный максимум и слабый фон, рассеянный в большом телесном угле. В центральном максимуме можно сконцентрировать до 50—60 % энергии скорректированного пучка. Полная энергетическая эффективность преобразования, помимо указанной выше эффективности метода, будет еще определяться

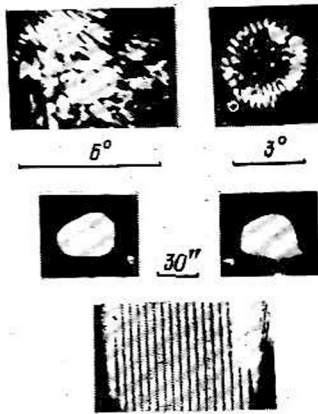


Рис. 3. Коррекция угловых характеристик световых полей двух разнотипных волокон и результат интерференции скорректированных полей

френелевскими потерями энергии в МВФ и дифракционной эффективностью голограммы. (Голограммы записывались на слоях бихромированной желатины и обладали после обработки дифракционной эффективностью  $\sim 60\%$ ). При изменении поля на выходе волокон, связанном с их деформациями, условия возбуждения и пр., доля энергии в центральном максимуме могла уменьшиться в 2—5 раз, а интенсивность фона возрастала. Угловые размеры центрального максимума определяются действующей апертурой голограммы, которая связана с расстоянием между голограммой и МВФ, а также размерами его фазовых элементов.

Необходимо отметить, что точность юстировки системы также существенно сказывается на окончательной эффективности преобразования. Наиболее важным моментом является установка голограммы на прежнее место относительно МВФ после ее обработки. Необходимая точность составляет 0,005—0,01 мм вдоль осей  $OX$  и  $OY$  (в плоскости голограммы) и 0,1—0,2 мм вдоль оси  $OZ$ . Это требует применения специальных держателей для голограммы, жестко фиксирующих ее положение.

Волокна, исследовавшиеся в эксперименте, были изготовлены методом вытяжки из стеклянного штабика с жилой из БФ25 и оболочкой из К17, диаметр волокон составлял 20—70 мкм, длина варь-

ировалась в пределах 20—500 мм. Максимальная длина исследовавшихся волокон определялась геометрией оптической схемы и длиной когерентности лазерного излучения.

На рис. 1 приведены результаты, иллюстрирующие уменьшение расходимости излучения и стабилизацию формы диаграммы направленности скорректированных пучков, которые формировались из полей на выходе многомодового волокна при различных условиях возбуждения. На рис. 2 показано уменьшение расходимости поля волоконного кабеля после коррекции волнового фронта системой МВФ — голограмма.

В последующих опытах изучалась пространственная когерентность сформированных полей. При этом оптическая схема эксперимента усложнялась. Лазерный пучок расщеплялся полупрозрачным зеркалом на два. Каждый из пучков микрообъективом фокусировался на свое многомодовое волокно и возбуждал его. Излучение каждого волокна дифрагировало на своем МВФ и восстанавливало свою голограмму. Конструкция оптической схемы позволяла налагать скорректированные поля друг на друга и наблюдать интерференцию скорректированных пучков. В таких экспериментах интересно было использовать световоды с существенно различными поперечными структурами поля на выходе. Поэтому во второе плечо схемы помещалось волокно другого типа без оболочки, которое изготовлялось методом вытяжки из стекла Г5. Отметим, что описанная схема представляет по сути двухлучевой волоконный интерферометр. На рис. 3 показаны угловые спектры волокон, расположенных в разных плечах схемы до и после корректирующих систем. Здесь же приведена фотография интерференционного поля для двух скорректированных пучков. Измеренная контрастность полос при условии одинаковой поляризации обоих интерферирующих пучков составляла 0,5—0,7. Было также установлено, что изменение фазы лазерного пучка, возбуждающего какой-либо из световодов, вызывает смещение интерференционных полос, пропорциональное этому изменению. Например, помещение перед одним из световодов пластинки с оптической толщиной в половину длины волны возбуждающего света вызывало смещение интерференционных полос на полпериода и т. д.

Проведенные опыты указывают на определенное функциональное сходство одномодовых и многомодовых волокон с корректирующей двухэлементной насадкой и позволяют заново очертить границы применения систем, включающих многомодовые волокна.

1. А. В. Гнатовский, А. П. Логинов, Н. В. Медведь, М. В. Николаев, М. Т. Шпак. *Квантовая электроника*, 6, 331 (1979).
2. А. В. Гнатовский, Н. Г. Зубрилин, А. П. Логинов, Н. В. Медведь, М. В. Николаев, М. Т. Шпак. *Укр. физ. журнал*, 23, 1452 (1978).

*Краткие сообщения*

---

З. А. В. Гнатовский, А. В. Воляр, Л. М. Кучикян, А. П. Логинов, Н. В. Медведь, М. Т. Шпак. *ДАН УССР, серия А, № 4, 329 (1978).*

Институт физики АН УССР, Киев

Поступило в редакцию  
13 октября 1980 г.,  
после доработки —  
21 января 1981 г.

**A. V. Gnatoyskii, N. V. Medved', M. T. Shpak. The Use of Fiber-Optic Systems to Form a Synthetic Interference Field.**

A method is considered for improvement of spatial-angular field characteristics at the output of a multimode fiber or a fiber bundle with the use of a two-component correcting system consisting of a spatial wavefront modulator and a hologram. Experimental results are presented which illustrate possible replacement of single-mode fibers by multimode ones with a correcting attachment in a number of arrangements.

---