

## ФОРМИРОВАНИЕ МОЩНОГО ГАУССОВОГО И БЕССЕЛЕВОГО ПУЧКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

© 2014 г. Ю.В. СОРОКИН

ОАО «НЦЛСК «Астрофизика»  
e-mail: soyurij@yandex.ru

Формирование мощных пучков лазерного излучения ограничивается дифракционными эффектами. Для повышения плотности мощности необходимо уменьшать диаметр фокуса.

В настоящее время наиболее перспективными мощными лазерами являются волоконные лазеры. Выход излучения производится через волоконно-оптический кабель, выходное излучение складывается из отдельных одномодовых модулей и суммарное излучение представляет собой суперпозицию многих полей, что приводит к многомодовой структуре поля и снижению качества излучения  $M^2$ .

Актуальной задачей является создание дифракционных оптических элементов, согласованных с тем или иным типом световых мод. Такие дифракционные оптические элементы находят свое применение в задачах параллельного ввода излучения в набор волокон; селекции поперечных мод лазерного излучения; формирования бездифракционных пучков.

Известны итеративные методы расчета фазовых дифракционных оптических элементов, способных формировать световые пучки с заданной композицией мод Гаусса–Эрмита; формировать моды Гаусса–Эрмита и Гаусса–Лагерра в различных дифракционных порядках; формировать моды Бесселя (бездифракционные пучки).

Иногда рассматривают только радиально-симметричные моды Гаусса–Лагерра.

Оптимальная фокусировка пучков электромагнитного излучения является одной из центральных проблем оптики, лазерной физики и радиофизики.

Традиционный способ, основанный на использовании оптических элементов со сферическими (или близкими к сферическим, например, параболическими) поверхностями, дает возможность сфокусировать излучение в область с поперечным размером зависящим от диаметра линзы и фокусного расстояния. При этом плоский фазовый фронт входного пучка преобразуется системой в близкий к сферическому, который становится плоским только в фокальной области, а радиальное распределение интенсивности по характеру повторяет распределение входного пучка.

Протяженность фокальной области вдоль оси  $z$  (продольный размер), одна из характеристик пучка, представляющих наибольший интерес, определяется дифракцией.

Для получения высокоинтенсивного протяженного пучка необходимо уменьшать диаметр каустики. Но тогда он становится коротким. Таким образом, явление дифракционной расходимости препятствует концентрации излучения в протяженные пространственные области с длиной  $L \gg L_d$  методами традиционной сферической оптики, и решение задачи требует использования пучков с волновым фронтом, отличным от сферического.

Длина перетяжки имеет сильную зависимость от параметра качества  $M$  лазерного излучения. Коррекция поля на выходе оптического волокна с помощью дополнительных элементов приводит к резкому улучшению расходимости излучения.

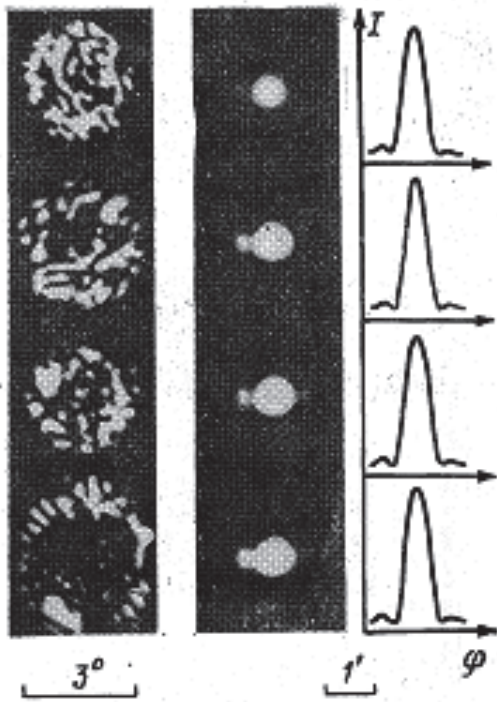


Рис. 1. Угловая расходимость излучения и стабилизация формы диаграммы направленности на выходе многомодового волокна при различных условиях его возбуждения.

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

Задача улучшения пространственных и угловых характеристик светового поля на выходе многомодовых волоконных элементов может быть успешно решена при использовании корректирующих систем («Квантовая электроника», 8, № 5 (1981)). При этом оказывается возможным формировать пучки с малой расходимостью излучения заданным распределением энергии по сечению пучка и высокой пространственной когерентностью практически независимо от типа волокон и поперечно-модового состава излучения на их выходе, т.е. в конечном счете синтезировать пучки с характеристиками, существенно лучшими, чем у исходных полей.

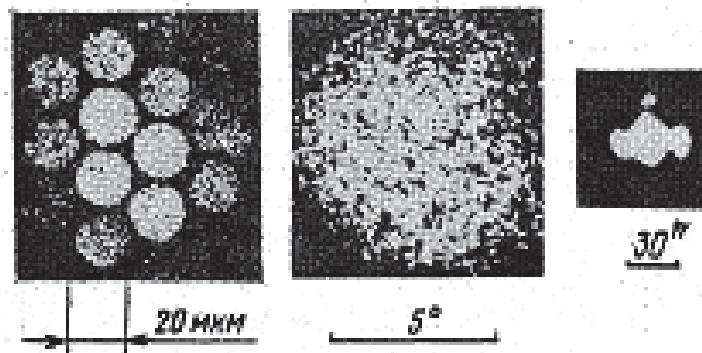


Рис. 2. Фотографии ближней и дальней зон световых полей на выходе волоконного жгута и результат уменьшения расходимости поля после коррекции.

Корректируемый пучок пропускается через МВФ, который состоит из одинаковых мелких фазовых элементов. Угловой спектр поля, продифрагировавшего 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. Вторым элементом системы — голограмма — дает полученному дифракционному полю форму волнового фронта опорного пучка.

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

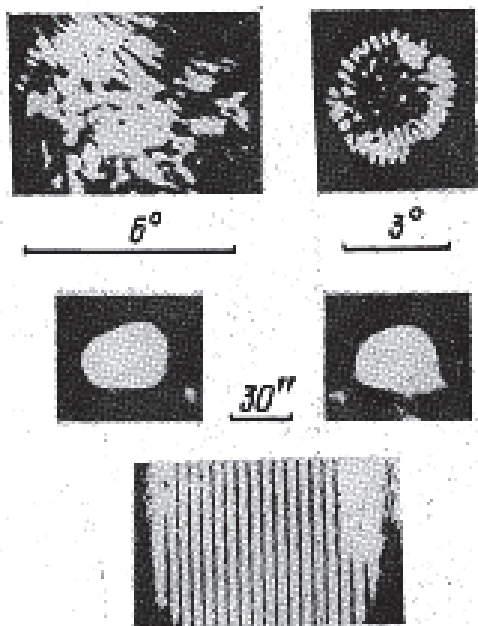
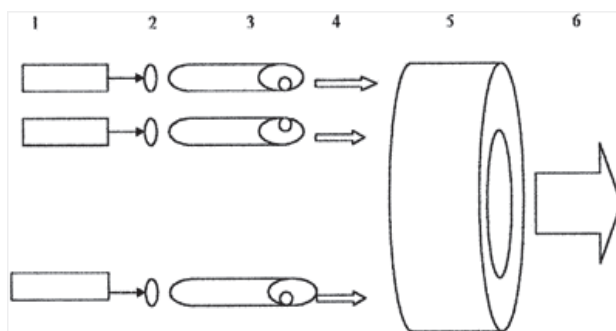


Рис. 3. Коррекция угловых характеристик световых полей двух разнотипных волокон и результат интерференции скорректированных полей.

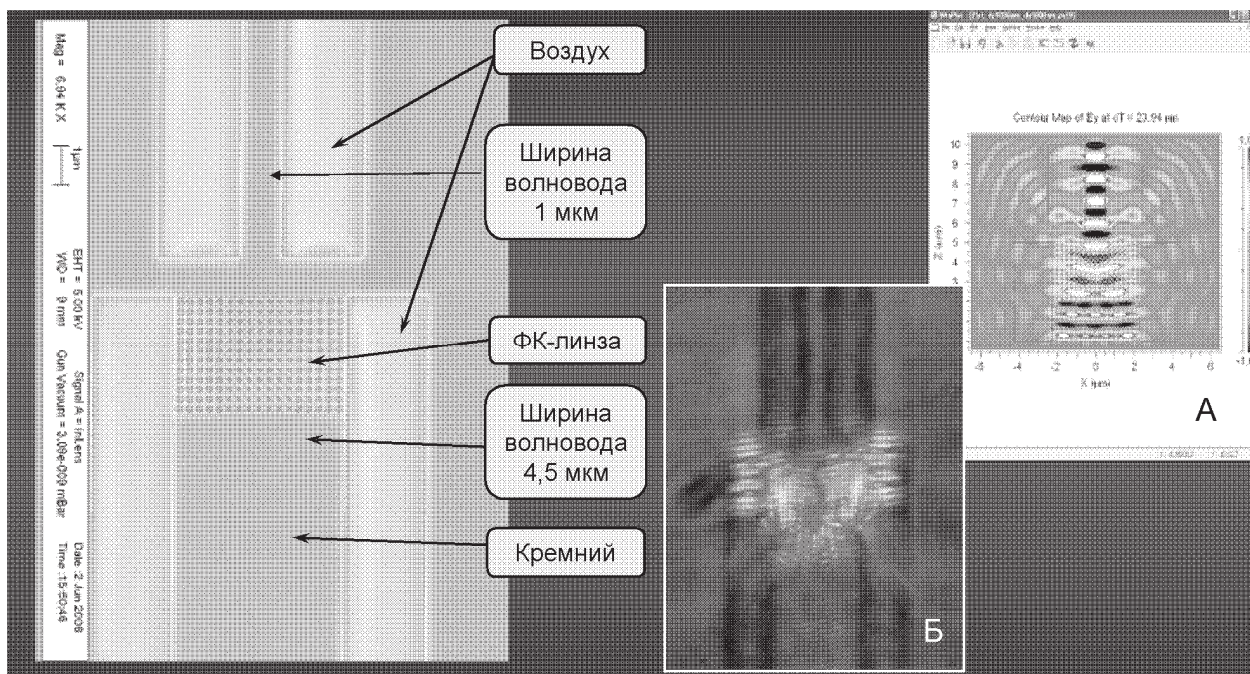
0,5—0,7. Было также установлено, что изменение фазы лазерного пучка, возбуждающего какой-либо из световодов, вызывает смещение интерференционных полос, пропорциональное этому изменению.

Использование структуры на фотонных кристаллах позволяет улучшить модовый состав выходного излучения.

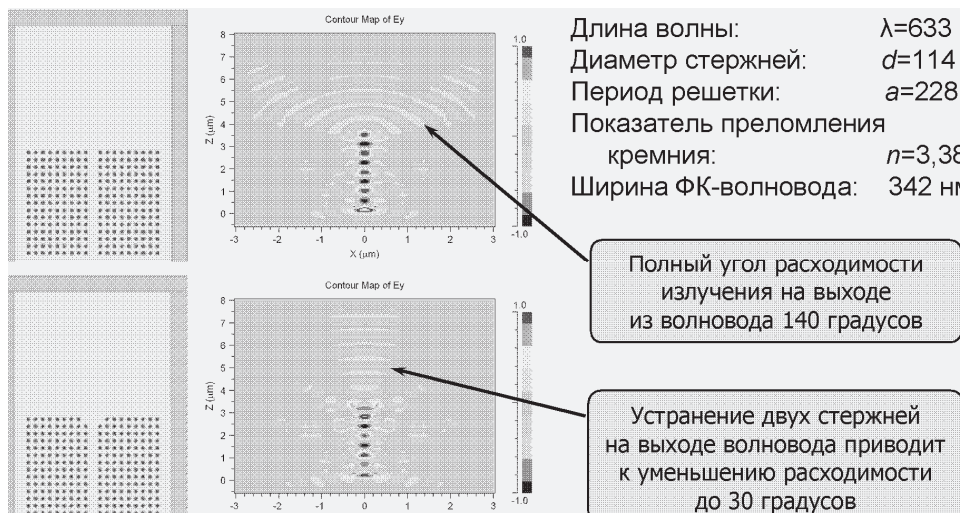
Разработан сумматор на фотонных кристаллах патент № 86761.



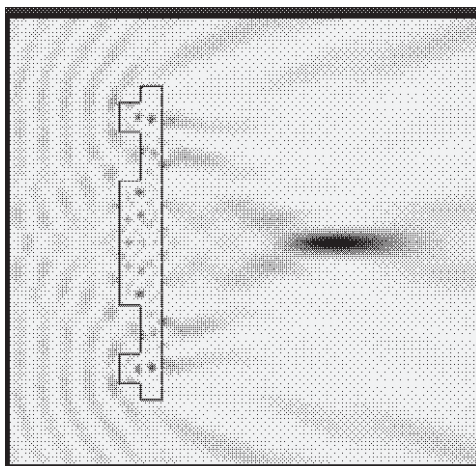
Использование подобной фотонно-кристаллической линзы внутри оптического волокна позволяет изменить расходимость на выходе волокна.



Использование фотонно-кристаллического коллиматора может резко уменьшить расходимость лазерного излучения.



Хороший результат приводит использование алмазных пленок.



Применение фотонно-кристаллических элементов для коррекции лазерного излучения в волоконно-оптическом кабеле позволит оптимизировать величину  $M^2$  и использовать аксионную оптику для созданию протяженных узких пучков лазерного излучения.

### Выводы

1. Использование фотоннокристаллических элементов позволяет производить коррекцию модовой структуры выходного лазерного излучения и таким образом снять ограничение на мощное излучение связанное с увеличенной расходимостью.
2. Коррекция модовой структуры мощного лазерного излучения позволяет решить проблему создания мощных пучков лазерного излучения с высокой плотностью мощности в каустике фокусирующей системы на основе аксионов.