

Нелинейная фокусировка дискретного волнового фронта с помощью многосердцевинных световодов

И.С. Чеховской^{1,2,*}, А.М. Рубенчик³, О.В. Штырина^{1,2},

С. Вабниц^{1,4}, М.П. Федорук^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

²Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск

³Ливерморская национальная лаборатория, Ливермор, штат Калифорния 94550, США

⁴Отдел информационной инженерии, Университет Брешиа, Брешиа 25123, Италия

*E-mail: i.s.chekhovskoy@gmail.com

DOI:10.31868/RFL2018.112-113

В настоящее время исследованию многосердцевинных световодов (multi-core fibers – MCF) уделяется большое внимание. Несмотря на то, что основной областью применения данных волокон является передача данных в телекоммуникационных линиях связи, MCF также начали использоваться в лазерных приложениях. В частности, перспективным направлением является изучение фокусировки света с использованием многосердцевинных световодов для создания новых мощных источников оптического излучения. Например, в работе [1] была представлена схема на основе активного гексагонального световода для фокусировки непрерывного излучения в любой наперед заданной сердцевине, для чего использовалось деформируемое зеркало, подстраиваемое с помощью итерационного оптимизационного процесса.

Целью данной работы является демонстрация с помощью численных экспериментов возможности фокусировки и сжатия импульсного лазерного излучения в любой сердцевине 7-сердцевинного гексагонального световода (рис. 1а). Работа является продолжением предыдущих работ, посвященных нелинейному сжатию и сложению оптических импульсов с помощью MCF [2,3].

Динамика огибающих оптических импульсов $U_{n,m}$ в гексагональных многосердцевинных световодах может быть описана с помощью системы связанных нелинейных уравнений Шредингера (НУШ) [3]:

$$i \frac{\partial U_{n,m}}{\partial z} + \frac{\partial^2 U_{n,m}}{\partial t^2} + (\underline{CU})_{n,m} + |U_{n,m}|^2 U_{n,m} = 0, \quad (1)$$

где $(\underline{CU})_{n,m} = U_{n-1,m-1} + U_{n+1,m-1} + U_{n-2,m} + U_{n+2,m} + U_{n+1,m-1} + U_{n+1,m+1} - 6U_{n,m}$ – линейные связи сердцевины с номером (n,m) . Моделировалось распространение вдоль рассматриваемого 7-сердцевинного световода Гауссовых импульсов $U_{n,m}(z=0,t) = \sqrt{P} \exp(-t^2 / (2\tau^2)) \exp(-\phi_{n,m})$. Модель верна для стандартного MCF с коэффициентом связи порядка 10 м^{-1} , если длительность импульсов не становится меньше нескольких пикосекунд. В силу наличия линейных связей между импульсами их общее оптическое поле может рассматриваться в качестве дискретного волнового фронта. С помощью подбора фаз каждого импульса в отдельности можно достичь фокусировки поля в любой выбранной сердцевине, при этом керровская нелинейность позволяет эффективно сжимать сфокусированный импульс. Для поиска параметров начальных импульсов, при которых достигается фокусировка импульсов на выходе из отрезка MCF, использовался генетический алгоритм. В качестве целевой функции, значение которой максимизировалось, выступала эффективность сложения импульсов, т.е. отношение энергии сфокусированного импульса без учета энергии, заключенной

в пьедестале импульса, к полной энергии введенных в светодов импульсов. Для каждого набора значений параметров начальных импульсов, задающих «генотип» особей в генетическом алгоритме, производилось моделирование динамики огибающих этих импульсов для нахождения расстояния вдоль световода, на котором достигается максимальное значение энергии импульса в выбранной сердцевине. Благодаря симметричности расположения сердцевин 7-сердцевинного гексагонального световода, рассматривались только два случая: фокусировка в центральной сердцевине и в одной из периферийных.

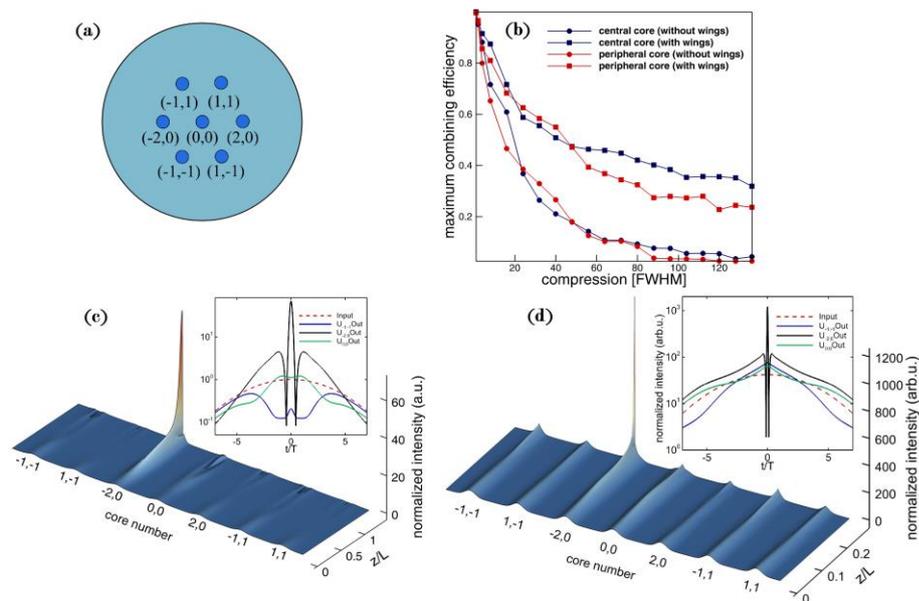


Рис.1. Схема рассматриваемого 7-сердцевинного световода (а). Максимально достижимая эффективность сложения в центральной и периферийной сердцевинах в зависимости от требования к величине сжатия итогового импульса (б). Динамика интенсивности поля в сердцевинах в случае сжатия импульса в 32 раза (с) и в 128 раз (d).

С помощью численного моделирования была найдена максимально достижимая эффективность сложения в центральной и периферийной сердцевинах при заданном требовании к сокращению временной длительности генерируемого импульса по отношению к длительности начальных импульсов (рис. 1б). Было показано, что максимальная эффективность (без учета энергии в пьедестале импульса) сравнима по величине в обоих случаях и экспоненциально уменьшается при росте требования к величине сжатия сфокусированного импульса. Например, импульс, сжатый в 32 раза (рис. 1с), может содержать в своей центральной части максимум около 35% от общей энергии всех введенных в световод импульсов. Сфокусированный в периферийной сердцевине импульс, сжатый в 128 раз (рис. 1d), может содержать только 3.2% от общей энергии. Вследствие высокой нелинейности большая часть энергии уходит в пьедестал, поэтому эффективность с учетом энергии в пьедестале достигает 28.5%.

Данная работа была поддержана грантом 14.Y26.31.0017 Министерства образования и науки. Работа выполнена частично при содействии Министерства энергетики США и Ливерморской национальной лаборатории в соответствии с контрактом DE-AC52-07NA27344 (работа А.М. Рубенчика).

Литература

- [1] R. Florentin, et al., Light: Science & Applications. **6**, e16208 (2017)
- [2] A. M. Rubenchik, et al., Opt. Lett. **40**, 721–724 (2015)
- [3] I. S. Chekhovskoy, et. al., Phys. Rev. A **94**, 043848 (2016)