

Поперечные потоки энергии в all solid band gap fiber

С.С. Стафеев

Институт систем обработки изображений - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
sergey.stafeev@gmail.com

А.Д. Прямиков

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
Москва, Россия
pryamikov@mail.ru

Г.К. Алагашев

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
Москва, Россия
alagashevgrigory@gmail.com

В.В. Котляр

Институт систем обработки изображений - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
kotlyar@ipsiras.ru

Аннотация—В данной работе рассмотрено поведение потока энергии в основной моде световода на основе фотонных запрещенных зон (ФЗЗ) или all solid band gap световода. Показано, что при возбуждении основной моды линейно-поляризованным светом в отдельных стержнях наблюдаются вихревые потоки энергии, возникающие попарно и сопровождающиеся узлами и седловыми точками, от которых поток энергии выходит не закрученным.

Ключевые слова— *all solid band gap fiber, поперечные потоки энергии, вихревые потоки энергии, FDTD-метод.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений исследований в настоящее время является изучение потоков энергии на микроуровне. В частности, понимание поведения световой энергии в микромасштабе может быть востребовано при создании световых ловушек нового типа, литографических устройств и световодов с минимальными потерями. Поперечные потоки энергии в остром фокусе лазерных пучков рассматривались в работах [1-3]. Например, в работе [1] рассматривались пучки с преимущественно азимутальной поляризацией, но содержащей небольшую радиальную составляющую. Цилиндрические векторные пучки дробных порядков рассматривались в работе [2]. Радиально поляризованный свет, прошедший через фазовые секторные маски рассматривался в работе [3]. В перечисленных выше пучках [1-3] изначально отсутствовали вихревые потоки энергии в поперечном сечении, однако они возникали в фокусе. В работах [4,5] изучались поперечные потоки энергии в световодах. В работе [4] была показана связь потерь в микроструктурированных волокнах с образованием в нем наборов оптических вихрей (и как следствие вихревых потоков энергии). Возникновение вихревых потоков энергии в полых волноводах с круглым и шестиугольным сердечником рассматривалось в работе [5]. Отметим здесь, что в работах [6,7] было показано, что поток энергии является суммой двух потоков: орбитального потока энергии и спинового потока энергии. Первая часть отвечает непосредственно за перенос

энергии, а вторая – за локальные вращательные потоки энергии.

В данной работе рассмотрено поведение потока энергии в основной моде световода на основе ФЗЗ световода. Показано, что при возбуждении основной моды линейно-поляризованным светом в отдельных стержнях наблюдаются вихревые потоки энергии, возникающие попарно и сопровождающиеся узлом и седловой точкой, из которых поток энергии выходит не закрученным.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данной работе исследовался all solid band gap световод, состоящий из шести стержней с радиусами 0,684 мкм, расположенными вдоль окружности с радиусом 11,4 мкм. Показатель преломления стержня был равен 1,478, показатель преломления остальной области 1,45.

Моделирование проводилось с помощью метода FDTD, реализованного в программе FullWave (шаг сетки был равен $\lambda/20$). Сначала вычислялась основная мода световода, затем исследовалось ее распространение на небольшом отрезке волокна. Считалось, что поляризация падающего на световод излучения линейна, а длина волны равна 1 мкм. После расчета поле приводилось к комплексному виду. Результаты моделирования показаны на рисунках ниже. На рис. 1 показаны рассчитанные составляющие интенсивности I_x и I_z (составляющая I_y была крайне мала), а на рис. 2 показаны компоненты вектора Пойнтинга. Из рис. 2 видно, что в центральной части световода поперечный поток расходится от центра световода, но в стержнях есть области, где он, наоборот, направлен к центру. На рис. 3 показано направление поперечного потока энергии вблизи отдельного стержня.

Из рис. 3 видно, что в стержне формируется 4 точки, в которых направление потока энергии не определено. Вокруг двух из них (права и левая на рис. 3) поток энергии закручивается.

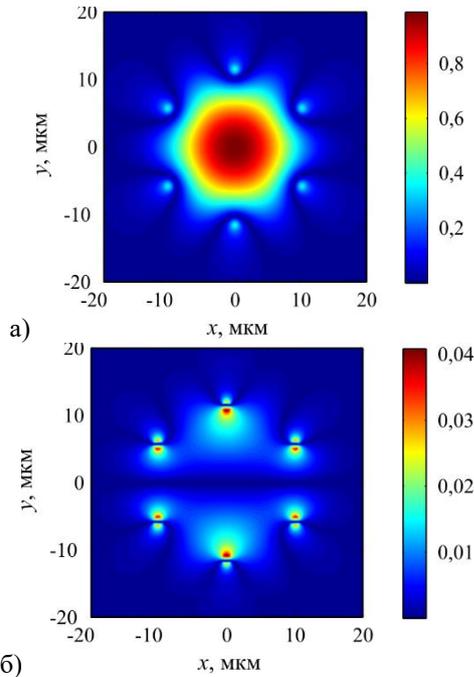


Рис. 1. Составляющие интенсивности I_x (а) и I_z (б)

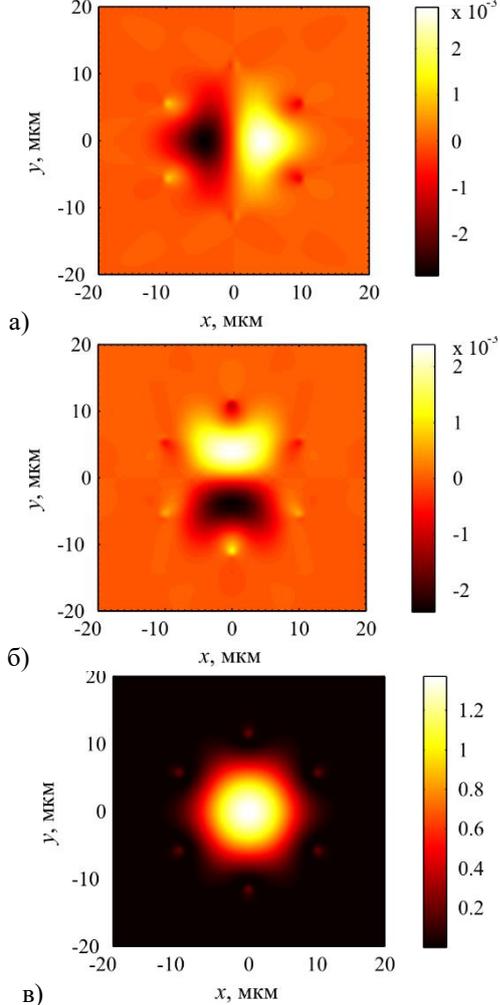


Рис. 2. Компоненты вектора Пойнтинга: S_x (а), S_y (б) и S_z (в)

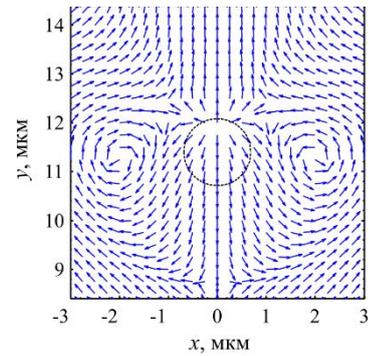


Рис. 3. Направление поперечного потока энергии в области отдельного стержня

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе показано, что при возбуждении основной моды ФЗЗ световода линейно-поляризованным светом в отдельных стержнях наблюдаются вихревые потоки энергии, возникающие попарно и сопровождающиеся узлом и седловой точкой, из которых поток энергии выходит не закрученным.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант 22-22-00575).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pan, Y. Spin angular momentum density and transverse energy flow of tightly focused kaleidoscope-structured vector optical fields / Y. Pan, X.-Z. Gao, G.-L. Zhang, Y. Li, C. Tu, H.-T. Wang // *APL Photonics*. – 2019. – Vol. 4. – P. 096102.
- [2] Stafeev, S.S. Tight focusing cylindrical vector beams with fractional order / S.S. Stafeev, A.G. Nalimov, V.D. Zaitsev, V.V. Kotlyar // *JOSA B*. – 2021. – Vol. 38(4). – P. 1090-1096.
- [3] Man, Z. Redistributing the energy flow of a tightly focused radially polarized optical field by designing phase masks / Z. Man, Z. Bai, S. Zhang, X. Li, J. Li, X. Ge, Y. Zhang, S. Fu // *Opt. Express*. – 2018. – Vol. 26(18). – P. 23935.
- [4] Pryamikov, A. Light transport and vortex-supported wave-guiding in micro-structured optical fibres / A. Pryamikov, G. Alagashev, G. Falkovich, S. Turitsyn // *Sci. Rep.* – 2020. – Vol. 10. – P. 2507.
- [5] Pryamikov, A. Phase Dislocations in Hollow Core Waveguides / A. Pryamikov // *Fibers*. – 2021. – Vol. 9. – P. 59.
- [6] Bekshaev, A.Y. Subwavelength particles in an inhomogeneous light field: Optical forces associated with the spin and orbital energy flows / A.Y. Bekshaev // *J. Opt.* – 2013. – Vol. 15(4). – P. 044004.
- [7] Berry, M.V. Optical currents / M.V. Berry // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* – 2009. – Vol. 11(9). – P. 094001.