

Антикроссинг и связь мод в изогнутых полностью стеклянных микроструктурированных волоконных световодах с каналами вытекания

А.Н. Денисов*, С.Л. Семёнов

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова

* E-mail: denisov@fo.gpi.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.152-153

Непрерывные волоконные лазеры мощностью несколько кВт широко применяются в таких областях как фундаментальные науки, обработка промышленных материалов и медицина. Для их создания необходимы одномодовые волоконные световоды с большим полем моды, которые должны обладать низкими изгибными потерями для обеспечения компактности лазеров. Как показали недавние исследования, оптимальным вариантом для них являются активные волоконные световоды с диаметром сердцевины около 20 мкм, которые при длине порядка 10 м обеспечивают киловаттный уровень мощности [1, 2]. Одним из кандидатов на эту роль могут быть полностью стеклянные микроструктурированные волоконные световоды с каналами вытекания оригинального дизайна (МВС-18), предложенного нами ранее [3, 4].

В настоящей работе приведены результаты численных исследований зависимостей параметров этих МВС-18 от радиуса изгиба, целью которых является оптимизация структуры МВС-18 для уменьшения допустимого радиуса изгиба.

На Рис. 1,а приведены рассчитанные зависимости потерь на вытекание для излучения, поляризованного по оси “x” (α_1) и по оси “y” (α_2) от радиуса изгиба МВС-18 по оси “x”. Отметим, что вследствие наличия трех сопряженных мод для каждой поляризации расчеты потерь проводились по алгоритму, предложенному нами в работе [4]. На Рис. 1,б приведены рассчитанные зависимости эффективных показателей преломления трех мод МВС-18, поляризованных по оси “x”.

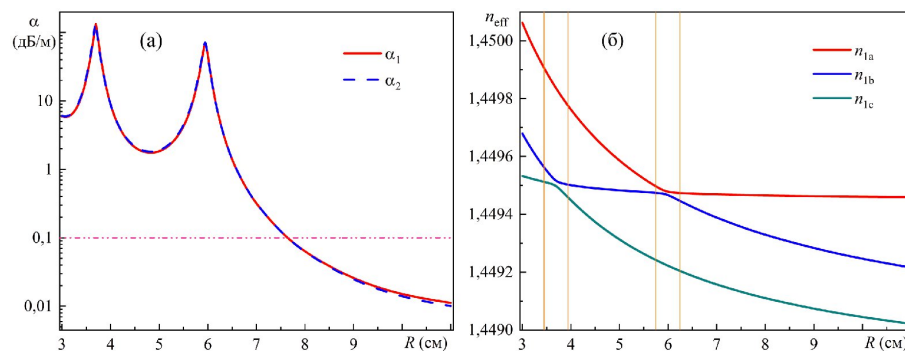


Рис.1. а) Рассчитанные зависимости потерь на вытекание для излучения, поляризованного по оси “x” и по оси “y” от радиуса изгиба МВС-18; б) Рассчитанные зависимости эффективных показателей преломления трех сопряженных мод МВС-18, поляризованных по оси “x”.

В некоторых работах вариации в изгибных потерях фундаментальных мод МВС (двух ее поляризаций) объясняются с помощью связи этих мод сердцевины с вытекающими модами оболочки вследствие совпадения действительных частей их эффективных показателей преломления (index-matched coupling) [5, 6]. В случае МВС-18 для каждой поляризации наблюдаются по три моды, имеющие в сердцевине близкие к гауссову распределения интенсивности, а также

дополнительные максимумы в кольцевом зазоре, которые названы сопряженными модами в силу характера их поведения. На Рис. 2 приведены пространственные распределения интенсивностей мод 1c и 1b для радиусов изгиба MBC-18 от 3,5 см до 4,0 см (слева) и пространственные распределения интенсивностей мод 1a и 1b для радиусов изгиба MBC-18 от 5,7 см до 6,3 см (справа).

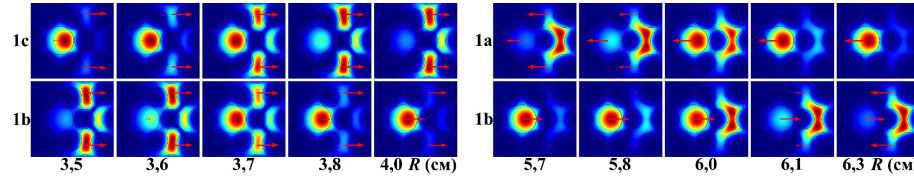


Рис.2. Пространственные распределения интенсивностей мод 1c и 1b для радиусов изгиба MBC-18 от 3,5 см до 4,0 см (слева); Пространственные распределения интенсивностей мод 1a и 1b для радиусов изгиба MBC-18 от 5,7 см до 6,3 см (справа).

Для количественного описания наблюдаемой трансформации мод 1a, 1b и 1c использовались интегральные интенсивности этих мод в отдельных частях MBC-18. Для примера на Рис. 3,а приведены рассчитанные интегральные значения интенсивностей мод 1a и 1b в сердцевине, в кольцевом зазоре и в оболочке MBC-18, нормированные на их сумму. Стоит отметить, что относительные интегральные интенсивности мод в оболочке MBC-18 очень хорошо коррелируют с рассчитанными потерями на вытекание для этих мод, что показано на Рис. 3,б.

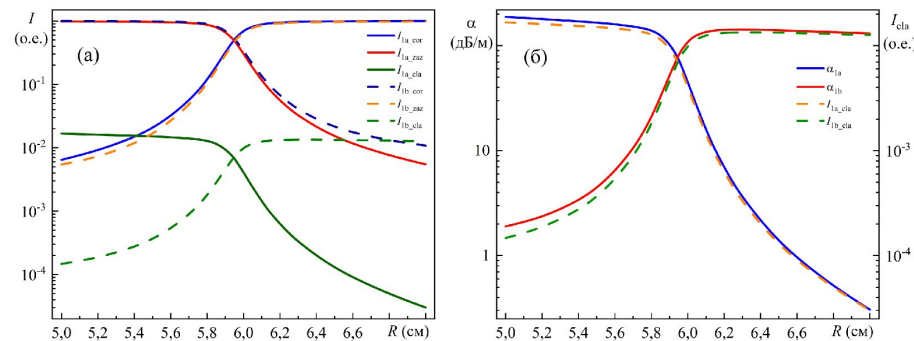


Рис.3. а) Рассчитанные интегральные значения интенсивностей мод 1a и 1b в сердцевине (“cor”), в кольцевом зазоре (“zaz”) и в оболочке (“cla”) MBC-18, нормированные на их сумму; б) Рассчитанные потери на вытекание для мод 1a и 1b, а также относительные интегральные интенсивности этих мод в оболочке MBC-18.

Сопоставляя вместе Рис. 1,б, Рис. 2 и Рис. 3,а для диапазона радиусов изгиба около 6,0 см можно сделать вывод, что в MBC-18 имеет место связь сопряженных мод, которая достигает максимального значения в области, где эти моды имеют минимальные отличия сразу по нескольким параметрам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки (грант № 075-15-2022-315 на создание и развитие научного центра мирового уровня «Центр фотоники»).

Литература

- [1] J.W. Nicholson, A. DeSantolo et al, *Proc. SPIE* **11981**, 119810R (2022)
- [2] A. Rosales-Garcia, R. Jensen, *Proc. SPIE* **11981**, 119810W (2022)
- [3] А.Н. Денисов, С.Л. Семёнов и др., *Тезисы 10-го Международного семинара по волоконным лазерам (RFL2022)*, 41-42 (2022); DOI: 10.31868/RFL.2022.41-42
- [4] A. Denisov, V. Dvoyrin et al, *Photonics* **10**, 465 (2023)
- [5] R. A. Barankov, K. Wei et al, *Opt. Lett.* **37**, 3147-3149 (2012)
- [6] C. Wei, C.R. Menyuk, J. Hu, *Opt. Express* **24**, 12228-12239 (2016)