

Динамика мод шепчущей галереи на поверхности оптического волокна вблизи его торца

Д.В. Кудашкин^{*}, И.Д. Ватник, Д.В. Чуркин

Новосибирский государственный университет

^{*}*E-mail: d.kudashkin@gsu.ru*

DOI: 10.31868/RFL2020.203-204

Моды шепчущей галереи (МШГ), возбуждаемые на поверхности цилиндрических волоконных микрорезонаторов, и, в частности, на поверхности оптического волокна, могут иметь ненулевую скорость распространения вдоль оси резонатора, которая зависит от вариации эффективного радиуса [1]. Изменением радиуса волокна можно контролировать скорость распространения мод. Так же скорость распространения моды зависит от разности резонансной длины волны микрорезонатора и длины волны, на которой распространяется мода [2]. На базе таких резонаторов могут быть созданы устройства для генерации оптических гребёнок, линии задержки, оптомеханические переключатели и пр.

Актуальной задачей является поиск новых способов управления аксиальным распространением мод. Одним из таких способов может стать использование геометрии волокна, например, торца волокна. Когда излучение в моде шепчущей галереи падает на торец волокна, угол между направлением распространения аксиальной МШГ в (лучевом приближении) и торцом мал. Так как показатель преломления кварцевой оболочки оптического волокна выше, чем показатель преломления воздуха, на торце волокна может произойти полное внутреннее отражение. В нашей работе мы изучили этот процесс отражения МШГ и определили коэффициент отражения.

Для этого в микрорезонатор подавались лазерные импульсы длительностью 0,5 нс с длинами волн, близкими к резонансной длине волны с нулевым аксиальным волновым вектором. Торец микрорезонатора был изготовлен путём скалывания волокна алмазным ножом. Излучение в резонатор заводилось через тейпер – вытянутое с помощью нагрева CO₂ лазером микроволокно. Перетяжка тейпера располагается перпендикулярно микрорезонатору. Для сканирования вдоль оси резонатора использовался второй тейпер, с его помощью была измерена пространственно-временная динамика интенсивности излучения $I(z, t)$.

При импульсном возбуждении исходный волновой пакет делится на несколько импульсов, распространяющихся вдоль оболочки с различными групповыми скоростями: на рис. 1а можно различить как минимум два отдельных импульса: первый имеет настолько большую групповую скорость, что временного разрешения осциллографа оказывается недостаточно, чтобы увидеть его отражение. Кажется, что эта часть импульса мгновенно появляется повсюду в резонаторе. Другая часть возбуждения распространяется с конечной скоростью от возбуждающего тейпера, расположенного в точке $z = -3200$ мкм в направлении торца, а затем отражается от скола волокна в точке $z = 0$ и движется назад от скола.

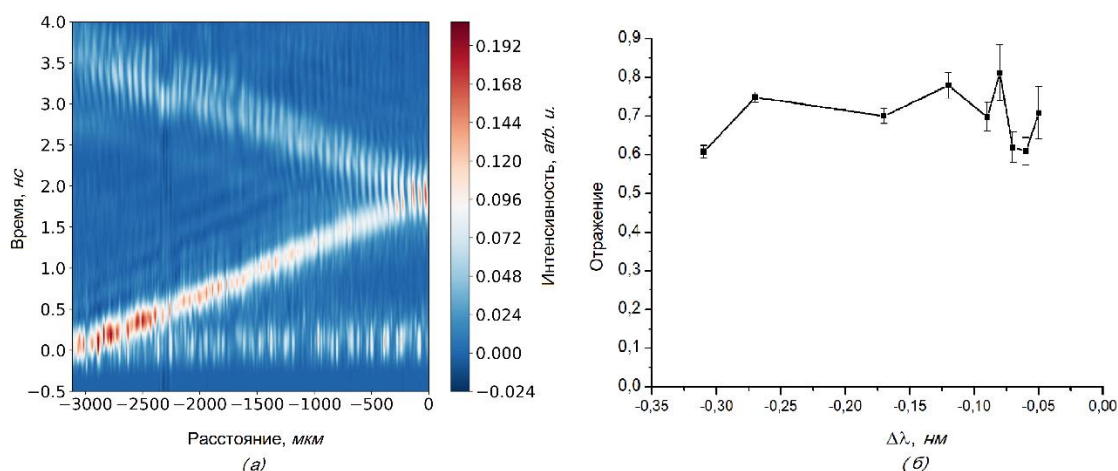


Рис.1. (а) Пространственно-временная динамика МШГ с расщеплением моды после отражения.
(б) Рассчитанное отражение R на торце волокна как функция отстройки длины волны.

На рисунке 1б приведён график зависимости коэффициента отражения от $\Delta\lambda$ – отстройки длины волны импульса от резонансной длины волны моды. Коэффициент вычислялся как отношение суммарной интенсивности падающей и отражённой моды. Для исследуемого образца коэффициент отражения составляет порядка 70%. Независимость коэффициента отражения R от $\Delta\lambda$ даёт дополнительную информацию о процессе отражения. Во-первых, это доказывает, что потери при распространении не влияют на оценки отражения. Действительно, можно ожидать, что линейные потери при распространении должны сильно зависеть от длины волны – большие отстройки и большие групповые скорости делают оптический путь моды короче. Это должно уменьшить чистые потери и их вклад в коэффициент отражения, оцененный нашим методом. И наоборот, независимость полученной отражательной способности от расстройки сигнализирует о том, что влияние потерь незначительно. Во-вторых, поскольку разные $\Delta\lambda$ предполагают разные углы падения луча МШГ к торцу волокна то независимость R от угла хорошо согласуется с предположением о том, что происходит полное внутреннее отражение.

Полученные результаты можно использовать в устройствах на основе аксиальных МШГ резонаторов для управления свойствами мод.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 18-72-10053).

Литература

- [1] Sumetsky, M. and Fini, J. M., Opt. Express **19**(27), 26470 (2011)
- [2] D. Kudashkin, I. Vatik et al., Proc. SPIE. **11355**, Micro-Structured and Specialty Optical Fibres VI