

Одномодовый волоконный световод с большой площадью моды и повышенным порогом мощности для ВРМБ (более чем на 11 дБ)

**С.В. Цветков^{1,*}, Т.С. Заушицына¹, А.С. Лобанов²,
Д.С. Липатов², Л.Д. Исакова¹, М.Е. Лихачев¹**

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,

Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова

²Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН

**E-mail: science@fopts.ru*

DOI:10.31868/RFL.2024.22-23

Доклад посвящен особенностям реализации пассивных одномодовых волоконных световодов с большой площадью моды и глубоким подавлением вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) за счет оптимизации состава легирования сердцевины и профилирования ее акустической волноводной структуры на примере недавно созданного световода с порогом мощности в непрерывном режиме для ВРМБ, превышающим не менее, чем на 11.2дБ, таковой для обыкновенного световода с большой площадью моды.

ВРМБ является первым фактором, ограничивающим уровень оптической мощности непрерывного узкополосного излучения, передаваемого посредством одномодового волоконного световода. Несмотря на то, что волоконные световоды с большой площадью моды (БПМ), широко используемые в схемах мощных волоконных лазеров и усилителей, имеют более высокий порог P_{th} мощности для ВРМБ по сравнению со стандартным телекоммуникационным световодом той же длины, дальнейшее увеличение порога P_{th} требует модификации радиальной акустооптической структуры световода. Данный способ повышения порога P_{th} в настоящее время является единственным, способным обеспечить сильное уменьшение коэффициента усиления ВРМБ в пассивных, а также активных, световодах с БПМ, в том числе имеющих свойство сохранения поляризации излучения (типа PANDA), не приводя при этом к росту оптических потерь и изменению характеристик оптической моды.

Для реализации данного метода используется легирование сердцевины световода одновременно несколькими добавками. Добавки подбираются с учетом их влияния на оптический показатель преломления и скорость звука в легируемом ими кварцевом стекле. Особое внимание уделяется проектированию профилей распределения концентраций добавок по радиусу. От этого главным образом зависит эффект подавления коэффициента усиления ВРМБ. Также мультилегирование позволяет повысить среднюю концентрацию добавок при сохранении низкой числовой апертуры, что увеличивает коэффициент затухания акустической волны и дополнительно понижает коэффициент усиления ВРМБ. Таким образом порог P_{th} мощности для ВРМБ может быть увеличен на 13–14дБ.

Влияя на скорость звука кварцевого стекла, добавки изменяют также частоту акустической волны, резонансно рассеивающей назад мощность падающего излучения и соответствующую максимуму в спектре коэффициента усиления ВРМБ. Переменная по радиусу концентрация добавок способствует увеличению количества полос в этом спектре [1]. Благодаря принципу сохранения интеграла под кривой спектра, максимум коэффициента усиления ВРМБ является обратно пропорциональным общей ширине спектра и числу

отдельных полос в нем (в случае, если интенсивность всех полос примерно одинаковая).

Недавно [2], мы разработали и изготовили пассивный волоконный световод со ступенчатым профилем оптического показателя преломления (числовая апертура $NA \approx 0.08$) и сердцевинной, состоящей из двух областей: центральная область была легирована добавками Al_2O_3 и GeO_2 , а периферическая — P_2O_5 и F. Выбор добавок и их комбинаций связан, прежде всего, с целью сделать эффективный частотный диапазон спектра коэффициента усиления ВРМБ максимально широким, а количество его полос максимально большим. Все добавки, кроме Al_2O_3 сдвигают Бриллюэновскую частоту влево, поэтому легирование центра сердцевины Al_2O_3 (хотя и относительно небольшое) обеспечивает правый край спектра, а левый его край максимально отодвигается от правого за счет максимизации легирования P_2O_5 и F в периферической ее части. Заготовка данного световода производилась с помощью метода MCVD, поэтому предельные концентрации одновременного легирования P_2O_5 и F были ограничены величинами $\sim 6.5\text{мол.}\%$ P_2O_5 и $\sim 1\text{вес.}\%$ F [3]. Оптимально рассчитанная градиентность профилей добавок позволила обеспечить максимально равномерное распределение полос (более 20) коэффициента усиления ВРМБ в рамках получаемого частотного окна шириной 1ГГц.

Вытянутый световод был проанализирован и характеризуем на длине волны 1.55мкм. Измерения профилей оптического показателя преломления и концентраций подтвердили хорошее соответствие дизайну, а измерение спектра коэффициента усиления ВРМБ показало подавление его максимума на 11.2дБ по сравнению с величиной, измеренной для обыкновенного германо-силикатного световода (контрольного) со схожими оптическими параметрами. Также были проведены измерения порогов мощности для ВРМБ нового и контрольного световодов, показавшие $10 \cdot \log(30\text{Вт}/2\text{Вт}) = 13.5\text{дБ}$ отношения между пороговыми значениями входных мощностей при равной длине волокон (рис. 1).

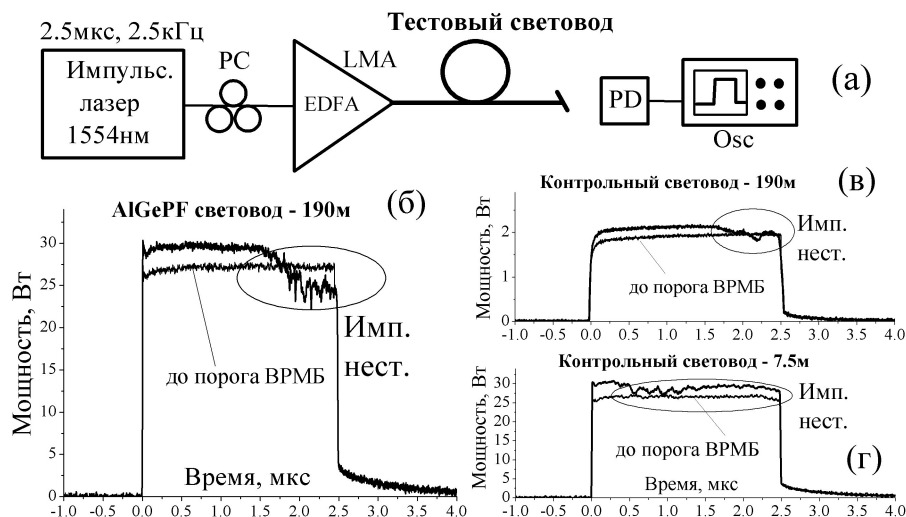


Рис. 1. а) Схема измерения порога мощности; б), в) и г) осциллограммы импульсов немного перед и сразу после пороговых значений входной мощности нового 190-метрового AlGePF-световода (б) и контрольного: в) той же длины, г) с тем же уровнем пороговой мощности.

Литература

- [1] S. Tsvetkov, M. Khudyakov, et al, *J. Lightw. Technol.* **39**, 592-599 (2021).
- [2] S. Tsvetkov, A. Lobanov, et al. *Photonics*, **10**, 1150 (2023).
- [3] Лобанов А.С., Липатов Д.С. и др. *Фотон-Экспресс, спецвып.* **6**, 130 (2019).