

# Револьверные волоконные световоды с поллой сердцевиной и лазеры на их основе

И.А. Буфетов\*, А.Ф. Косолапов, А.Д. Прямиков, А.В. Гладышев

Научный центр волоконной оптики РАН

\*E-mail: iabuf@fo.gpi.ru

DOI:10.31868/RFL2018.43-44

Револьверные волоконные световоды (RF) - это новый тип волоконных световодов с поллой сердцевиной (HCF), которые впервые были предложены и реализованы в 2011 году в НЦВО РАН [1]. Поперечные сечения некоторых полых RF из кварцевого стекла, реализованных до настоящего времени, представлены на Рис. 1(c,d).

RF изготавливаются методом сборки заготовки из капилляров с последующей вытяжкой световодов. (см. Рис. 1). Оптические потери в них имеют зонную структуру (Рис. 2а) и, как показано экспериментально, могут быть снижены до  $\approx 50$  дБ/км в ближнем ИК диапазоне и до  $\approx 1$  дБ/м в среднем ИК (на длине волны 4.4 мкм).

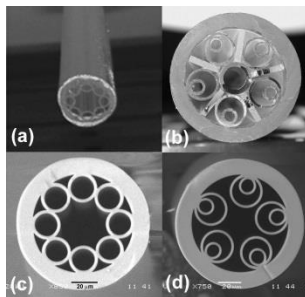


Рис. 1. Поперечные сечения оптических элементов на основных этапах изготовления RF. (а) заготовка RF с одиночными капиллярами, прилегающими друг к другу [1]; (б) собранная заготовка RF с кварцевыми элементами между двойными капиллярами,  $\varnothing 25$  мм; (с) изображение сечения вытянутого RF с касающимися капиллярами; (д) изображение сечения вытянутого RF с двойными вложенными некасающимися капиллярами,  $\varnothing 110$  мкм [2].

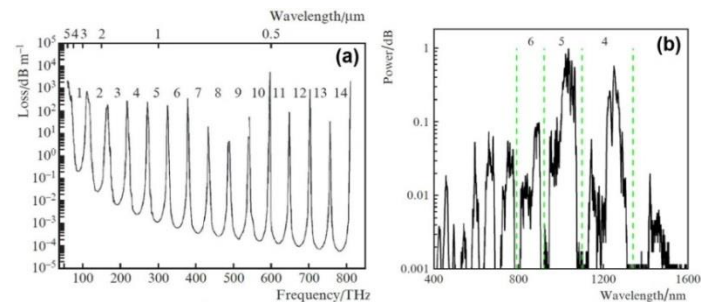


Рис. 2. (а) - теоретические потери для фундаментальной моды, рассчитанные для спектрального интервала, соответствующего 14 зонам пропускания RF; (б) измеренный спектр лазерного излучения на выходе из световода длиной 3 м при энергии импульса на входе 110 мкДж [3].

Введение молекулярных газов в сердцевину полых световодов превращает их в активную среду для волоконных лазеров. Например, лазерная генерация в спектральном диапазоне 3.1 – 3.2 мкм была получена в СПС, заполненных ацетиленом [4]. При этом генерация осуществлялась за счет создания инверсии населенностей на колебательно-вращательных уровнях ацетилена с помощью оптической накачки. Другим методом генерации длинноволнового лазерного излучения в СПС является ВКР в газах, заполняющих сердцевину этих

световодов. Особенно привлекательным в данной схеме выглядит использование молекулярного водорода, точнее – наиболее распространенного легкого изотопа водорода  $^1\text{H}$ . В однопроходной схеме ВКР-лазера (Рис. 3а) была достигнута выходная мощность на длине волны 4.4 мкм более 1 Вт (Рис. 3б) [5]. Накачка при этом осуществлялась наносекундными импульсами (Рис. 3а).

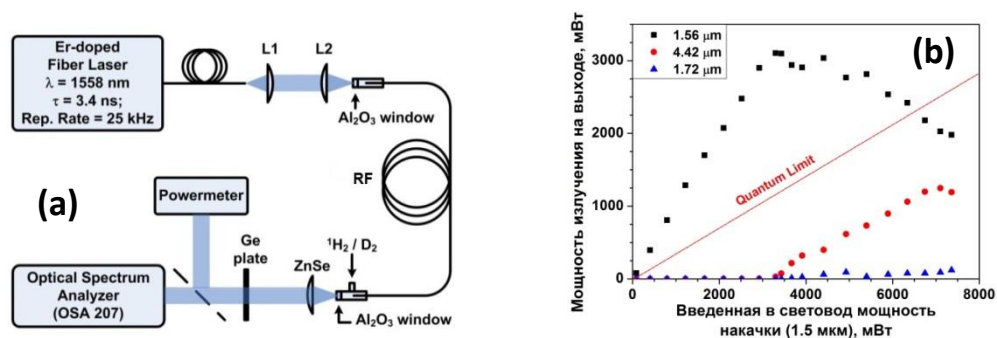


Рис. 3. (а) Оптическая схема ВКР-лазера на  $\text{RF}(^1\text{H}_2)$ . L1 и L2 - линзы из плавненого кварца,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - сапфировые окна газовых ячеек, ZnSe - коллимирующая линза на выходе волоконного лазера, Ge – германиевая пластинка толщиной 2 мм. (б) - Зависимость средней мощности излучения на выходе волоконного ВКР-лазера от средней мощности накачки, введенной в световод.

Использование ультракоротких импульсов накачки позволяет получать за счет нелинейных эффектов излучение с широким спектром, несмотря на зонную структуру спектра пропускания RF. Так, была экспериментально продемонстрирована возможность получения многозонного суперконтинуума в RF с одиночными разделенными капиллярами в оболочке [3]. При вводе в световод, заполненный атмосферным воздухом, лазерных импульсов длительностью 205 фс с энергией 110 мкДж на длине волны 1028 нм получен суперконтинуум со спектральным диапазоном, перекрывающим область длин волн 415-1593 нм с 11-ю зонами пропускания RF.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №16-19-10513

## Литература

- 1 A.D. Pryamikov, A.S. Biriukov et al. *Opt. Express* **19**, 1441-1448 (2011).
- 2 A. F. Kosolapov, G. K. Alagashv et al. *Quantum Electronics*, **46**, 267-270 (2016).
- 3 Yu.Yatsenko, E.N. Pletneva et al. *Quantum Electronics*, **47**, 553-560 (2017).
- 4 M. R. A. Hassan, F. Yu, W. J. Wadsworth, J. C. Knight, *Optica*, **3**, 218-221 (2016).
- 5 M.S. Astapovich, A.V. Gladyshev et al. To be published (2018).