

# Двухкаскадное рамановское преобразование 1030→1490→2680 нм чирпированных пикосекундных импульсов в револьверном световоде, заполненном дейтерием

А.В. Гладышев\*, Ю.П. Яценко, А.Н. Колядин, И.А. Буфетов

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова*

\*E-mail: [alexglad@fo.gpi.ru](mailto:alexglad@fo.gpi.ru)

DOI: 10.31868/RFL2020.114-115

Кварцевые световоды с полой сердцевиной, заполненной рамановски-активными газами, открыли новые возможности для преобразования лазерного излучения из хорошо освоенных спектральных областей ( $\lambda \approx 1$  и 1.56 мкм) в средний ИК диапазон. На сегодняшний день продемонстрированы эффективные рамановские газовые волоконные лазеры (ГВЛ), генерирующие на длинах волн около 2.9 и 4.4 мкм [1-3]. Однако выходные импульсы указанных лазеров имеют длительность  $\tau \approx 1$  нс, в то время как для многих приложений требуется излучение фемтосекундной длительности.

Переход к фемтосекундным импульсам в рамановских ГВЛ сталкивается с трудностями, обусловленными инерционностью молекулярных колебаний и преобладанием нелинейных процессов, связанных с практически безынерционной электронной поляризуемостью. Подавление нежелательных нелинейных эффектов можно реализовать с помощью линейного чирпа импульсов накачки. При этом длительность импульсов накачки увеличивается, после чего реализуется эффективное рамановское преобразование с последующим сжатием стоксового импульса до фемтосекундной длительности. Описанный метод был ранее продемонстрирован в ближнем ИК диапазоне[4-6].

В данной работе впервые реализована рамановская генерация субпикосекундных импульсов в среднем ИК диапазоне за счет двухкаскадного рамановского преобразования 1030 → 1490 → 2680 нм в световоде с полой сердцевиной, заполненном дейтерием.

Схема экспериментальной установки показана на Рис. 1. Лазер накачки генерировал на длине волны 1030 нм спектрально-ограниченные импульсы длительностью 250 фс, которые растягивались до 10 пс за счет внесения линейного положительного чирпа. Частота повторения импульсов составляла 2 кГц.

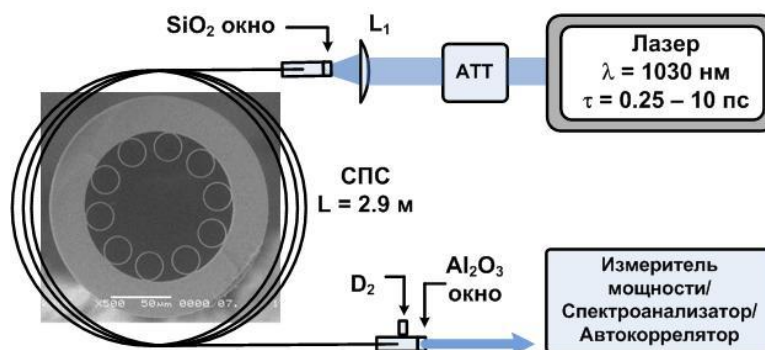


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. АТТ – аттенуатор, L1 – фокусирующая линза, СПС – световод с полой сердцевиной. На схеме указаны входное ( $\text{SiO}_2$ ) и выходное ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) окошки и узел подачи газа ( $\text{D}_2$ ) в световод. На вставке показано SEM изображение торца световода.

Излучение накачки вводилось в полый световод револьверного типа, заполненный дейтерием под давлением 5 атм. Длина световода составляла 2.9 м. Диаметр полый сердцевины и толщина стенок капилляров оболочки составляли 77 и 1.15 мкм, соответственно. Излучение с выходного торца световода подавалось на измеритель мощности, анализаторы спектра и автокоррелятор.

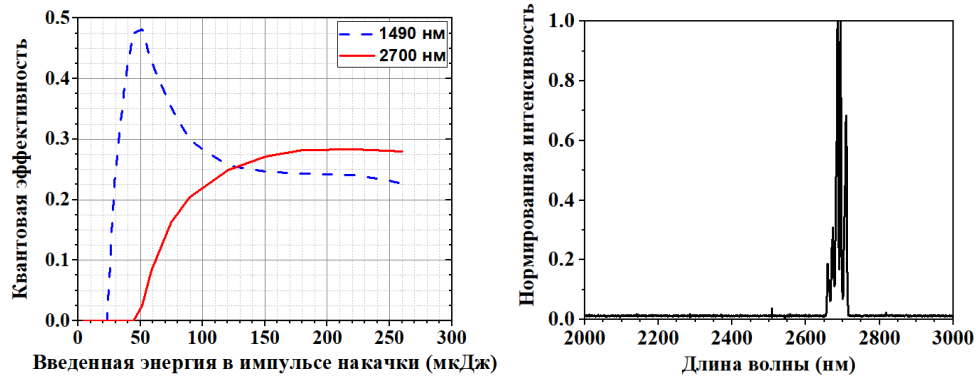


Рис. 2. (Слева) Квантовая эффективность рамановского преобразования в первую (синий пунктир) и вторую (красная кривая) стоксовы компоненты в зависимости от введенной энергии в импульсе накачки. (Справа) Спектр генерации рамановского лазера в среднем ИК диапазоне.

Порог генерации первой стоксовой компоненты ( $\lambda = 1490$  нм) наблюдался при энергии в импульсе накачки  $E_{1030} \approx 20$  мкДж (Рис.2, слева). Максимальная квантовая эффективность преобразования  $1030 \rightarrow 1490$  нм составила 45 % и наблюдалась при  $E_{1030} \approx 50$  мкДж. Дальнейшее увеличение энергии в импульсе накачки приводило к каскадному преобразованию излучения из первой во вторую стоксовую компоненту  $1490 \rightarrow 2680$  нм (Рис. 2). Суммарная квантовая эффективность преобразования  $1030 \rightarrow 2680$  нм достигала 28 %. Измерения автокорреляционной функции выходных импульсов на длине волны 2680 нм указывают на то, что вблизи порога генерации второй стоксовой компоненты реализуется режим генерации субпикосекундных импульсов.

Результаты численного моделирования по оптимизации рамановского преобразования в полых световодах револьверного типа указывают на возможность повышения квантовой эффективности преобразования chirпированных пикосекундных импульсов в средний ИК диапазон до уровня более чем 50%.

Полученные результаты открывают новые перспективы для генерации фемтосекундных импульсов в среднем ИК диапазоне.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 19-12-00361.

## Литература

- [1] A. Gladyshev et al., *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, **24**(3), Art no. 0903008, (2018)
- [2] M. S. Astopovich et al., *IEEE Photonics Technol. Lett.* **31**, 78-81, (2019)
- [3] Z. Li et al., *Opt. Lett.* **43**, 4671 (2018)
- [4] N. V. Didenko et al., *Quantum Electron* **45**(12), 1101 (2015)
- [5] A. V. Gladyshev et al., *Quantum Electron.* **49**(12), 1089-1092, (2019)
- [6] S. Loranger et al., in *CLEO-2020*, paper SM1P.1, (2020)