

Газовые волоконные лазеры

А.В. Гладышев*, 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*

DOI:10.31868/RFL.2024.62-63

Световоды с поллой сердцевиной (СПС) открыли широкие возможности для разработки лазеров нового типа – газовых волоконных лазеров (ГВЛ). Такие источники излучения могут сочетать в себе преимущества как волоконных лазеров (компактность, низкий порог генерации, одномодовое излучение), так и газовых лазеров (высокая выходная мощность, малая ширина линии генерации, широкий диапазон длин волн генерации). За последние годы был получен целый ряд новых результатов, продемонстрировавших возможность создания в спектральном диапазоне $1 \div 5$ мкм эффективных ГВЛ на основе полых световодов из кварцевого стекла. В данной работе представлен краткий обзор последних достижений в этой области исследований.

Активной средой ГВЛ служит заполняющий полую сердцевину газ, свойствами которого определяются два основных типа ГВЛ. С одной стороны, использование молекулярных газов, обладающих комбинационно-активными переходами, позволяет реализовывать рамановские ГВЛ на основе вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). С другой стороны, применение вынужденных переходов между энергетическими уровнями в газах позволяет создавать ГВЛ на основе инверсии населенностей.

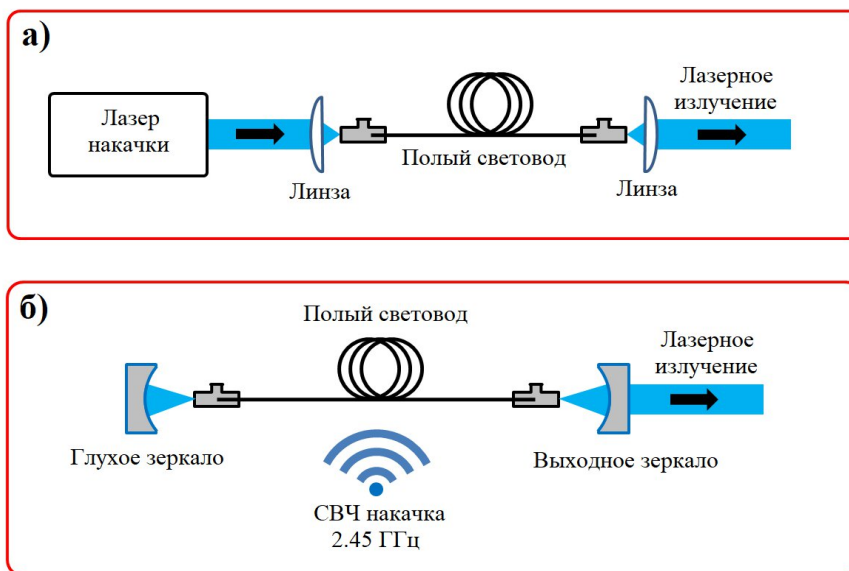


Рис. 1. Принципиальные схемы лазерных источников на основе газонаполненных полых световодов. а) Оптический преобразователь лазерного излучения. б) Оптический генератор лазерного излучения.

Рамановские ГВЛ на основе легких молекулярных газов, таких как H_2 , D_2 и CH_4 , продемонстрировали возможность получения высокой выходной мощности. Средняя выходная мощность, превышающая 100 Вт, достигнута в ближнем ИК диапазоне на длине волны $\lambda = 1,15$ мкм [1]. Кроме того, экспериментально

продемонстрирована выходная мощность более 1 Вт в среднем ИК диапазоне на длинах волн $\lambda = 2,9$ [2] и $\lambda = 4,4$ мкм [3]. Несмотря на то, что большинство рамановских ГВЛ генерируют лазерные импульсы длительностью в несколько наносекунд, в последние годы удалось получить генерация субпикосекундных импульсов в среднем ИК диапазоне [4]. Более того, было показано, что рамановские ГВЛ, использующие в качестве накачки чирпированные ультракороткие импульсы на длине волны 1,03 мкм, могут быть легко преобразованы в источники суперконтинуума с эффективной передачей энергии в средний ИК диапазон до длины волны $\sim \lambda = 4,2$ мкм [5, 6].

ГВЛ на основе инверсии населенностей в подавляющем большинстве случаев реализуются с помощью *оптической* накачки другими лазерными источниками (рис. 1а). Такая удобная схема накачки позволила реализовать ГВЛ, работающие в непрерывном режиме с выходной мощностью на уровне $\sim 1 - 10$ Вт в среднем ИК диапазоне. В частности, при $\lambda = 3,1$ мкм была достигнута выходная мощность до 8 Вт [7]. В более длинноволновом диапазоне $\lambda = 4,16$ и $\lambda = 4,3$ мкм выходная мощность достигает значений 3,1 [8] и 0,5 Вт [9], соответственно.

Схема ГВЛ, показанная на рис. 1а, строго говоря, представляет собой не генератор, а всего лишь оптический *преобразователь* излучения накачки. Первая в мире *генерация* лазерного излучения в ГВЛ была продемонстрирована лишь недавно, благодаря созданию в полой сердцевине газового разряда, накачиваемого сверхвысокочастотным излучением с частотой 2,45 ГГц (рис. 1б) [10, 11]. Эти результаты открывают новые возможности для генерации лазерного излучения на различных длинах волн, которые труднодоступны другими методами.

Таким образом, достигнутые за последнее время результаты по лазерной генерации в спектральной области $1 \div 5$ мкм, убедительно демонстрируют, что газовые волоконные лазеры могут быть эффективными источниками лазерного излучения среднего ИК диапазона. При этом они имеют большой потенциал для наращивания средней и пиковой выходной мощности, а также для расширения диапазона длин волн генерации. Такие лазеры, несомненно, найдут разнообразные применения в таких областях как биомедицина, газоанализ и обработка материалов.

Авторы выражают благодарность гранту Российского научного фонда № 22-19-00542, <https://rscf.ru/project/22-19-00542/>.

Литература

- [1] Y. Cui et al., *High Power Laser Science and Engineering* **11**, e10 (2023)
- [2] W. Huang et al., *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **30**, 1400107 (2024)
- [3] M. S. Astapovich et al., *IEEE Photonics Technology Letters* **31**, 78-81 (2019)
- [4] A. Gladyshev et al., *Opt. Mater. Express*, **10**, 3081–3089 (2020)
- [5] A. Gladyshev et al., *Photonics* **9**, 997 (2022)
- [6] A.V. Gladyshev et al., *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **30**, 1400207 (2024)
- [7] W. Huang et al., *Opt. Lett.* **47**, 2354-2357 (2022)
- [8] Z. Zhou et al., *Opt. Lett.* **47**, 5785-5788 (2022)
- [9] Y. Cui et al., *J. Lightwave Technology* **40**, 2503-2510 (2022)
- [10] A.V. Gladyshev et al., *Bull. Lebedev Phys. Inst.* **50**, 403–408 (2023)
- [11] A.V. Gladyshev et al., *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **30**, 0900107 (2024)