

# 1030 нм волоконный лазер с распределенной обратной связью с резонатором длиной 2 см

**О.В. Бутов\***, А.А. Рыбалтовский, М.Ю. Вяткин, С.М. Попов,  
Ю.К. Чаморовский, К.М. Голант

<sup>1</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН*

\* E-mail: [obutov@mail.ru](mailto:obutov@mail.ru)

Лазеры с предельно узкой линией генерации (одночастотные) находят широкое применение в различных областях фотоники, сенсорики и квантовой электроники. В качестве таких источников излучения широко используются полупроводниковые лазеры с распределенной обратной связью (РОС-лазеры). Альтернативой полупроводниковым являются одночастотные волоконные РОС-лазеры. Такие волоконные РОС-лазеры находят, в частности, применение в качестве чувствительных элементов компактных быстродействующих волоконных сенсоров [1-3].

Резонатором волоконного РОС-лазера обычно является записанная в сердцевине участка активного фоточувствительного световода брэгговская решётка, имеющая в центральной части фазовый сдвиг модуляции показателя преломления на  $\pi$  (так называемый « $\pi$ -сдвиг»). Наличие « $\pi$ -сдвига» приводит к подавлению мод более высокого порядка, обеспечивая устойчивость одночастотного режима генерации [4].

Минимальная длина резонатора волоконного РОС-лазера определяется коэффициентом усиления активного волокна и обычно составляет несколько (4-10) сантиметров [5,6]. При этом важно отметить, что более длинный участок активной части РОС-лазера приводит к дополнительной нестабильности лазерной генерации. В настоящей работе мы демонстрируем возможность создания одночастотного иттербиевого РОС-лазера с ультракоротким резонатором на основе фоточувствительного волокна с повышенной концентрацией иттербия в сердцевине.

Для создания волоконного РОС-лазера мы использовали специально изготовленный для этой цели активированный иттербием фоточувствительный световод на основе кварцевого стекла. Заготовка для вытяжки волокна с составом стекла в сердцевине  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5/\text{GeO}_2/\text{Yb}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  была получена с использованием метода плазмохимического осаждения (SPCVD). Применение SPCVD дало возможность получить волокно с высокой концентрацией ионов  $\text{Yb}^{3+}$  (коэффициент поглощения в пике на длине волны 976 нм равен примерно 2.4 дБ/мм) без признаков кластеризации. Это позволило создать эффективный РОС-лазер с длиной резонатора длиной не более 2 см. Необходимая для записи решетки фоточувствительность световода к УФ-излучению обеспечивалась за счёт добавления в состав сердцевины оксида германия.

Для изготовления резонатора РОС-лазера, на участке активного световода длиной 20 мм с помощью излучения эксимерного ArF-лазера (193 нм) производилась запись брэгговской решётки с « $\pi$ -сдвигом» при помощи фазовой маски специальной конструкции. Точка « $\pi$ -сдвига» располагалась таким образом, что делила брэгговскую решётку на два участка длиной 9 и 11 мм (45% и 55% соответственно). Согласно [7,8], такое положение точки « $\pi$ -сдвига» обеспечивает максимальную эффективность селекции направления распространения основной продольной моды резонатора волоконного РОС-

лазера. Было изготовлено несколько образцов решёток с интенсивностью брэгговского пика  $\sim 17$ - $19$  дБ вблизи длины волны  $1034$  нм.

Для исследования спектра излучения волоконного РОС-лазера и измерения его выходных характеристик использовалась схема, аналогичная представленной в работе [6]. Источником накачки РОС-лазера служил стабилизированный по температуре диодный лазер с длиной волны излучения  $976$  нм. Регистрация оптического спектра РОС-лазера осуществлялась при помощи анализатора оптического спектра Yokogawa AQ6370D с разрешением  $0.02$  нм. С целью уменьшения влияния температурных эффектов на выходные характеристики, РОС-лазер был закреплён на теплоотводящем металлическом радиаторе [5].

Порог генерации РОС-лазера соответствовал току лазера накачки  $74$  мА. Мощность, измеренная на выходе из РОС-лазера, составила при этом  $1.4$  мВт. С увеличением тока лазера накачки выходная мощность возрастала линейно и достигала  $9.5$  мВт при значении тока лазера накачки  $350$  мА. Отсутствие деградации выходных характеристик по меньшей мере в течение  $2$ -х часов свидетельствовала о достаточной устойчивости использованного в работе световода к эффекту фотопотемнения, обусловленного низкой степенью кластеризации ионов иттербия в стекле сердцевины [9,10].

Оценка ширины линии генерации осуществлялась с помощью гетеродинного метода, основанного на анализе частотного спектра биений двух идентичных волоконных РОС-лазеров – исследуемого и опорного (гетеродина), предварительно согласованных по длине волны и интенсивности излучения [11]. Результат интерференции регистрировался с помощью анализатора радиочастотного спектра ADVANTEST R3162. Оценка полуширины спектральной линии биений дает величину  $\sim 16$  кГц, которая, однако, оказалась близка к величине предельного разрешения, использованного в нашем эксперименте ( $10$  кГц), и в реальности может быть даже меньше. Результаты проведенных измерений позволяют утверждать, что ширина линии каждого из идентичных лазеров может быть оценена в половину от измеренной спектральной ширины линии биений [12], т.е. не более  $8$  кГц.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект «офи\_м 14-29-08170»).

## Литература

- [1] G.A. Cranch, G.M.H. Flockhart, C.K. Kirkendall, *IEEE Sensors Journal*, **8**, 1161-1172 (2008)
- [2] Y. Liu, W. Zhang et al, *Photonic sensors*, **1**, 43-53 (2011)
- [3] S. Foster, A. Tikhomirov, et al, *Proc. of Acoustics-2012*, 1-6 (2012)
- [4] S. Foster, *IEEE J. Quantum Electronics* **40**, 884-892 (2004)
- [5] М.А. Никулин, С.А. Бабин et al, *Квантовая электроника*, **39**, 906-910 (2009)
- [6] W.H. Loh, R.I. Laming, *Electronics Letters*, **31**, 1440-1442 (1995)
- [7] V.C. Lauridsen, J.H. Povlsen, P. Varming, *Electronics Letters*, **34**, 2028-2030 (1998)
- [8] K. Yelen, L.M.B. Hickey, M.N. Zervas, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, **40**, 711-720 (2004)
- [9] T. Deschamps, N. Ollier et al, *The Journal of Chemical Physics*, **136**, 14503-14507 (2012)
- [10] А.А. Рыбалтовский, С.С. Алешкина et al, *Квантовая электроника*, **41**, 1073-1078 (2011)
- [11] A. Hussein Ali, S.N. Abdul-Valid, *IOSR Journal of Engineering*, **2**, 1-6 (2012)
- [12] S. Spießberger, M. Schiemangk, et al, *J. of Lightwave Technology*, **28**, 2611-2616 (2010)