Волоконные лазеры с распределенной обратной связью на основе регулярных и случайных структур показателя преломления

С.А. Бабин^{1,2}, М.И.Скворцов¹, А.А. Вольф¹, А.В. Достовалов¹, С.Р. Абдуллина¹, А.А. Власов¹

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, 630090, Коптюга, 1

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090, Пирогова, 1

тел: +7 (383) 330-79-69, факс: +7 (383) 330-8878, эл. почта: babin@iae.nsk.su

DOI 10.34077/RCSP2021-19

Резонатор лазера с распределенной обратной связью (РОС) обычно представляет собой периодическую структуру, сформированную непосредственно в активной среде. В волоконных РОС-лазерах в активном волокне формируется брэгговская решётка показателя преломления (ПП) длиной 5-10 см с фазовым сдвигом на пол-периода в центре структуры, что обеспечивает стабильный одночастотный режим генерации. Волоконная брэгговская решётка (ВБР) может также иметь много фазовых сдвигов, наведенных при записи, в т.ч. случайных [1], в последнем случае говорят о случайном РОС (СРОС) лазере. В километровых волокнах слабая СРОС на естественных неоднородностях показателя преломления, определяющих рэлеевское рассеяние, может быть достаточной для генерации, если интегральное усиление велико – при этом в пассивных волокнах для усиления используется эффект ВКР [2]. Увеличение рэлеевского рассеяния в пассивных волокнах за счет формирования искусственных случайных структур ПП позволяет уменьшить длину таких СРОС-лазеров до сотен метров [3].

В докладе дан обзор последних достижений в области волоконных РОС и СРОС лазеров, а также их гибридных вариантов, включающих как регулярные, так и случайные структуры ПП. Новые возможности формирования таких структур в активных и пассивных волокнах даёт технология фемтосекундной (фс) поточечной лазерной модификации, применяемая не только в одномодовых, но и в многомодовых/многосердцевинных волоконных световодах [4].

В частности, технология поточечной фс модификации позволила создать РОС-лазер рекордно короткой длины (5,3 мм) в композитном эрбиевом световоде [5], причем его характеристики не уступают характеристикам обычных волоконных РОС-лазеров с длиной резонатора на порядок больше, в частности, измеренная ширина линии составила единицы кГц при мощности 0,5 мВт. С помощью фс технологии в пассивном волокне длиной 5-10 см был сформирован искусственный рэлеевский отражатель - он имеет малые потери и в комбинации с эрбиевым РОС-лазером такой гибридный лазер с регулярной и случайной РОС позволяет на порядок уменьшить ширину линии одночастотной генерации (с ~1 до ~0,1 кГц) в телекоммуникационном диапазоне спектра (~1,55 мкм). Искусственный рэлеевский отражатель также использовался совместно с обычной ВБР. В таком полуоткрытом резонаторе с усиливающим композитным эрбиевым волокном длиной 35 см получена одночастотная (<0,5 кГц) генерация мощностью 1,5 мВт, а при увеличении мощности до 12 мВт наблюдается уширение линии генерации до ~100 МГц. При этом продемонстрирована возможность перестройки частоты в телекоммуникационном диапазоне за счет сжатия ВБР.

Массив ВБР со случайной относительной фазой и амплитудой, записанный в 7 м пассивного одномодового волокна, сохраняющего поляризацию, позволяет получить одночастотную случайную ВКР-генерацию мощностью ~10 мВт, увеличение мощности накачки позволяет получить поляризованную узкополосную генерацию (<80 пм) мощностью >6 Вт@~1,1 мкм с возможностью перестройки внутри линии усиления ВКР [6]. Кроме того, исследована случайная ВКР-генерация с полуоткрытым резонатором из двух ВБР с одной стороны и рэлеевской СРОС в 500 м 2-сердцевинного волокна [7], а также в 7-сердцевинном волокне с массивами из 6 ВБР (в разных сердцевинах) с каждой стороны – продемонстрировано сужение линии за счет случайного продольного сдвига ВБР в массиве.

Рассмотрены возможности практических применений разработанных лазеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (21-72-30024).

Литература

- [1] M. Gagné, R. Kashyap // Opt. Express **17** (21), 19067-19074 (2009).
- [2] S.K. Turitsyn, S.A. Babin, D.V. Churkin, et al. // Phys. Reports **542**, 133-193 (2014).
- [3] X. Wang, D. Chen, H. Li, et al. // Applied Optics **57** (2), 258-262 (2018).
- [4] A. V. Dostovalov, A. A. Wolf, M. I. Skvortsov, et al. // Opt. Fib. Technol. **52**, 101988 (2019).
- [5] M. I. Skvortsov, A. A. Wolf, A. A. Vlasov, et al. // Sci. Reports **10**, 14487 (2020).
- [6] S. R. Abdullina, M. I. Skvortsov, A. A. Vlasov, et al. // Las. Phys. Lett. **16**, 105001 (2019).
- [7] M. I. Skvortsov, S. R. Abdullina, A. A. Wolf, et al. Opt. Lett. **44**, 295-298 (2019).