

ГАРМОНИЧЕСКАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ МОД В КОЛЬЦЕВОМ ЛАЗЕРЕ С МИКРОВОЛОКОННЫМ РЕЗОНАТОРОМ*

✉ П. А. Итрин, Д. А. Коробко, Д. А. Столяров

Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

✉ itrin@mail.ru

Волоконные лазеры зарекомендовали себя как одни из наиболее доступных и удобных для конечного потребителя источников ультракоротких импульсов. С точки зрения простоты изготовления и удобства вывода излучения они представляют собой привлекательную альтернативу полупроводниковым и твердотельным лазерам. Одним из важнейших параметров подобных лазеров является частота следования импульсов (ЧСИ). Достижение волоконными лазерами высоких ЧСИ (> 10 ГГц) позволяет значительно расширить область их приложений, при этом в первую очередь следует выделить их возможное использование как генераторов гребенчатого спектра в задачах оптических телекоммуникаций, микроволновой фотоники, спектроскопии и т. д. [1, 2].

Так как длина резонатора волоконного лазера составляет ~ 10 м, разработка волоконного источника с высокой ЧСИ возможна только в рамках гармонической синхронизации мод (ГСМ), когда лазерный резонатор содержит большое число импульсов, находящихся на равном расстоянии друг от друга. Перспективным вариантом имплементации ГСМ в волоконном лазере является встраивание в резонатор высокодобротного частотного эталона со свободным спектральным параметром (FSR), кратным FSR основного резонатора.

В настоящей работе представлена экспериментальная схема волоконного лазера со встроенным микроволоконным резонатором (рис. 1) и насыщающимся поглотителем на основе углеродных нанотрубок (УНТ), позволяющая получать импульсные последовательности с частотами следования в десятки ГГц. Принципиальным отличием от недавней работы [3] является исключение гибридной синхронизации мод с участием нелинейного вращения поляризации, что улучшает поляризационную устойчивость схемы.

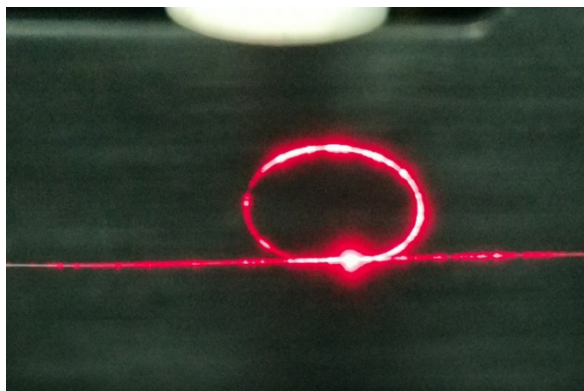


Рис. 1. Фото микроволоконного резонатора

Экспериментально реализована схема волоконного лазера с гармонической синхронизацией мод при помощи встроенного узелкового микроволоконного резонатора, обеспечивающего спектральную фильтрацию на частоте, соответствующей параметру свободной дисперсии (рис. 2).

В отличие от известных волоконных лазеров на основе высокодобротных интегрально-оптических резонаторов, микроволоконный резонатор не способен обеспечить синхронизацию мод посредством четырехволнового смешивания, поэтому необходимым элементом

* Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (проекты № 075-15-2021-581, FEUF-2023-0003) и Российским научным фондом (проект № 23-79-30017).

© П. А. Итрин, Д. А. Коробко, Д. А. Столяров, 2023

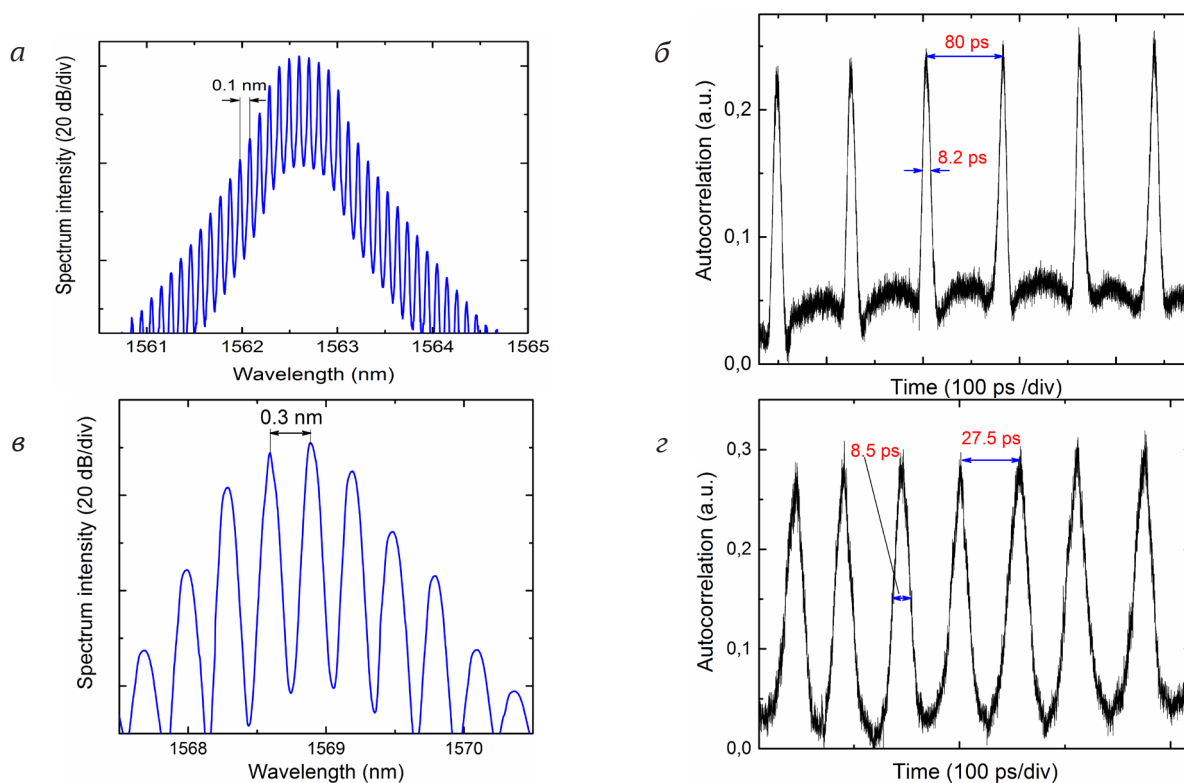


Рис. 2. Оптические спектры (а, б) и автокорреляции (в, г) импульсных последовательностей волоконного лазера со встроенным микроузловым резонатором диаметром 5,5 мм (а, б) и 1,8 мм (в, г)

лазера оказывается насыщающийся поглотитель на основе УНТ. В то же время использование микроволоконного резонатора значительно упрощает изготовление ГСМ-лазеров с частотой следования импульсов в десятки ГГц — значительно более простая микроволоконная технология исключает из конструкции не только высокотехнологичные интегрально-оптические резонаторы, но и сложные системы ввода/вывода излучения и необходимость контроля дисперсии.

Предлагаемый вариант схемы предоставляет эффективный метод разработки технологичных недорогих компактных лазеров со сверхвысокой частотой следования импульсов, не требующей настройки в процессе эксплуатации.

Подобные лазеры с высокой частотой повторения имеют широкое применение во многих областях, включая оптическую связь, лазерную обработку, нелинейную оптику и хранение данных. В частности, существует острая необходимость в разработке сверхбыстрых волоконных лазеров с частотой следования импульсов выше гигагерца, таких как нелинейный биомиджинг и микроволновая фотоника.

Список литературы

1. Grudinin A. B., Gray S. Passive harmonic mode locking in soliton fiber lasers // J. Opt. Soc. Am. B. 1997. Vol. 14. P. 144–154.
2. Korobko D. A., Fotiadi A. A., Zolotovskii I. O. Mode-locking evolution in ring fiber lasers with tunable repetition rate // Opt. Express. 2017. Vol. 25. P. 21180–21190.
3. Tianqi Wang, Duidui Li, Zhaoyu Ren et al. Ultra-high harmonic mode-locking with a micro-fiber knot resonator and Lyot filter // Opt. Express. 2022. Vol. 30. P. 14770–14781.