

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУППОВОЙ ДИНАМИКИ ИМПУЛЬСОВ В КОЛЬЦЕВОМ ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ С НАСЫЩАЕМЫМ ПОГЛОТИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК*

✉ М. В. Прибылов¹, П. А. Итрин¹, Д. А. Коробко¹, А. В. Сыса², Ю. П. Шаман²

¹ Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

² Научно-производственный комплекс «Технологический центр», Москва, Россия

✉ hks14865@gmail.com

Вследствие растущей необходимости в компактных, надежных и недорогих лазерных источниках импульсов с высокой (мультиГГц) частотой следования в последнее десятилетие весьма интенсивно развиваются волоконные лазеры с т. н. гармонической синхронизацией мод (ГСМ). В ней, в отличие от стандартной синхронизации мод на фундаментальной частоте, множество импульсов однородно заполняет резонатор, сохраняя постоянное межимпульсное расстояние [1]. Устойчивость подобного расположения импульсов обеспечивается межимпульсным отталкиванием. Из-за его достаточно низкой интенсивности ГСМ подвержена воздействию шумовых нестабильностей, проявляющихся в виде супермодового шума и джиттера высокочастотной импульсной последовательности [2]. С крайне важной задачей повышения стабильности волоконных ГСМ-лазеров тесно связаны исследования межимпульсных взаимодействий, позволяющие глубже понять механизмы формирования различных импульсных групп и особенностей коллективной динамики импульсов в резонаторе волоконного лазера.

В докладе рассматриваются особенности групповой динамики импульсов в волоконном лазере с насыщающимся поглотителем на основе углеродных нанотрубок (УНТ). Используемые в работе образцы насыщающихся поглотителей изготовлены в НТЦ «Технологический центр» из исходного материала одностенных УНТ TUBALL с 97%-м содержанием УНТ с полупроводниковым типом проводимости. Зависимости пропускания трех различных образцов от пиковой мощности потока пропускаемого импульсного излучения демонстрируют высокий уровень насыщаемых при различной величине ненасыщаемых потерь (10–40 %) (рис. 1, а) [3].

Далее, эти образцы были встроены в схему эрбиевого волоконного лазера, исключаящую синхронизацию мод на основе нелинейного вращения поляризации (рис. 1, б). Все образцы продемонстрировали успешный запуск лазера в режиме фундаментальной синхронизации мод. При повышении мощности накачки все исследуемые конфигурации перешли в режим многоимпульсной генерации.

В данном режиме обнаружены существенные различия групповой динамики в зависимости от используемого образца. Конфигурация на основе образца 1_1 (с минимальными ненасыщаемыми потерями) переходит в режим ГСМ, в то время как в конфигурациях на основе образцов 1 и 2 наблюдается генерация связанных состояний импульсов — солитонных «молекул», с межимпульсным расстоянием порядка сотен пикосекунд. Известная классификация позволяет отнести такие комплексы импульсов к связанным состояниям со слабой связью [4]. Для каждого из образцов показана возможность управления межимпульсным расстоянием

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

© М. В. Прибылов, П. А. Итрин, Д. А. Коробко, А. В. Сыса, Ю. П. Шаман, 2023

в солитонной паре при изменении накачки. Рисунок 2 демонстрирует изменение расстояния между импульсами в паре от 0,15 до 0,67 нс при сравнительно небольшом изменении тока накачки от 79 до 83 мА.

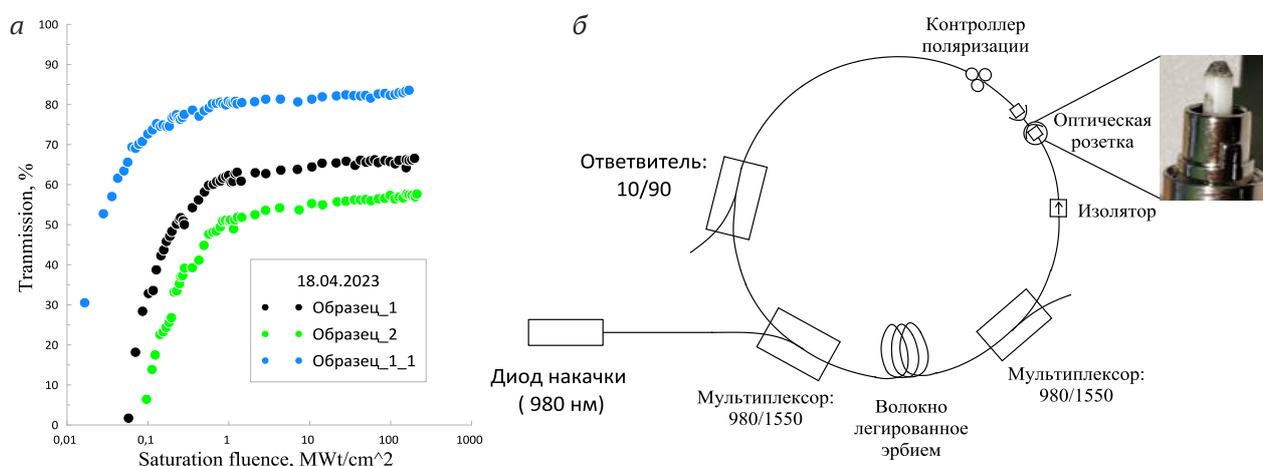


Рис. 1. Зависимость пропускания образцов от пиковой интенсивности пропускаемого импульсного излучения (а). Схема волоконного лазера при исследованиях групповой динамики импульсов (б)

Таким образом, в работе продемонстрировано влияние параметров насыщающего поглотителя, используемого в волоконном лазере, на групповую динамику импульсов и характеристики образующихся устойчивых связанных состояний. Полученные данные представляют как прикладной, так и исследовательский интерес и будут использованы при изучении межимпульсных взаимодействий в солитонном волоконном лазере.

Список литературы

1. Liu Xueming, Meng Pang. Revealing the buildup dynamics of harmonic mode-locking states in ultrafast lasers // Laser & Photonics Reviews. 2019. Vol. 13.9. P. 1800333.
2. Ribenek V.A., Korobko D.A., Fotiadi A.A., Taylor J.R. Supermode noise mitigation and repetition rate control in harmonic mode-locked fiber laser implemented through the pulse train interaction with co-lased CW radiation // Optics Letters. 2022. Vol. 47(19). P. 5236–5239.
3. Stoliarov D.A., Itrin P.A., Korobko D.A. et al. Saturable absorber based on the fiber coupler coated by CNTs // Optical Fiber Technology. 2021. May. Vol. 63(28). P. 102524.
4. Korobko D.A., Okhotnikov O. G., Zolotovskii I. O. Long-range soliton interactions through gain-absorption depletion and recovery // Optics letters. 2015. Vol. 40(12). P. 2862–2865.

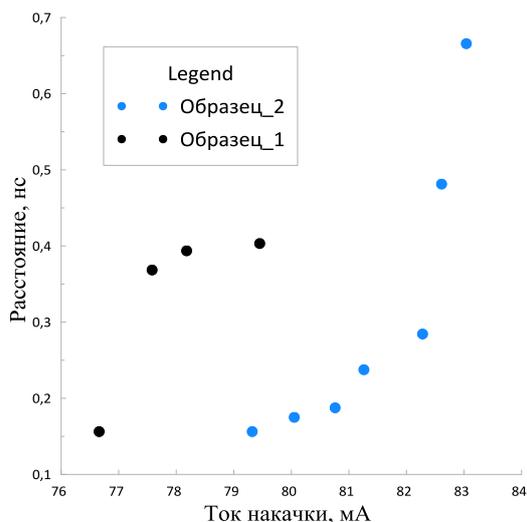


Рис. 2. Зависимость расстояния между импульсами в связанном состоянии от тока накачки