

КОНТРОЛЬ ЧИСЛА ИМПУЛЬСОВ В ГРУППЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА С НАСЫЩАЮЩИМСЯ ПОГЛОТИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ УНТ*

✉ 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

Лазеры с ультракороткими импульсами находят широкое применение в различных областях, таких как сверхбыстрая визуализация, оптическая связь, спектроскопия, биомедицина и обработка материалов. Одним из источников таких импульсов являются волоконные солитонные лазеры с пассивной синхронизацией мод, которая может обеспечиваться специальными нелинейными элементами — насыщающимися поглотителями (НП), изменяющими свое пропускание в зависимости от мощности излучения. В последние годы широкое распространение получили НП на основе углеродных нанотрубок (УНТ), при этом активно исследуются многоимпульсные режимы генерации солитонных лазеров с подобными НП: гармоническая синхронизация мод, связанные состояния солитонов и солитонные молекулы, солитонные банчи, «дожди» солитонов и т. п.

В данном контексте исследование механизмов межимпульсного взаимодействия представляет собой важную задачу физики волоконных лазеров. В качестве основных механизмов взаимодействия могут выступать отталкивание через насыщающееся и релаксирующее усиление, взаимодействие, осуществляемое через акустические волны посредством электрострикции [1], взаимодействие, передающееся посредством дисперсионных волн или непрерывной компоненты в резонаторе [2] и т. д. Общим свойством всех указанных взаимодействий является их весьма небольшая интенсивность, зачастую лишь немного превышающая уровень шумовых воздействий на импульсы (например, из-за внешних воздействий, шумов активной среды и т. п.).

В докладе рассматриваются особенности групповой динамики импульсов, которые зависят от фундаментальной частоты (т. е. длины) волоконного резонатора в лазере с НП на основе УНТ. Используемый в работе образец изготовлен в НТЦ «Технологический центр» из исходного материала одностенных УНТ TUBALL диаметром 1,2 нм и длиной более 5 мкм. Зависимость пропускания образца от пиковой мощности потока пропускаемого импульсного излучения демонстрирует насыщаемые потери, близкие к $\sim 50\%$, и ненасыщаемые потери — $\sim 18\%$ (рис. 1, а) [3].

Далее образец был встроен в схему эрбиевого волоконного лазера, исключаящую синхронизацию мод на основе нелинейного вращения поляризации (см. рис. 1, б).

В данном режиме обнаружены существенные различия групповой динамики в зависимости от длины резонатора. Изначальная длина резонатора составляла $\sim 21,72$ м (частота 9,4 МГц). Коннектор для вывода излучения из схемы был подключен к осциллографу, что позволило нам отслеживать изменение количества связанных импульсов в резонаторе при увеличении мощности накачки. Далее уменьшали длину резонатора до 20,94 м с шагом $\sim 0,1$ м и регистрировали изменения в максимальном количестве импульсов.

В резонаторе с длиной 21,27 м и фундаментальной частотой 9,6 МГц было наименьшее количество солитонных «молекул» (рис. 2, а). Наибольшее число импульсов достигается

* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-79-30017).

© М. В. Прибылов, П. А. Итрин, Д. А. Коробко, А. В. Сыса, Ю. П. Шаман, 2024

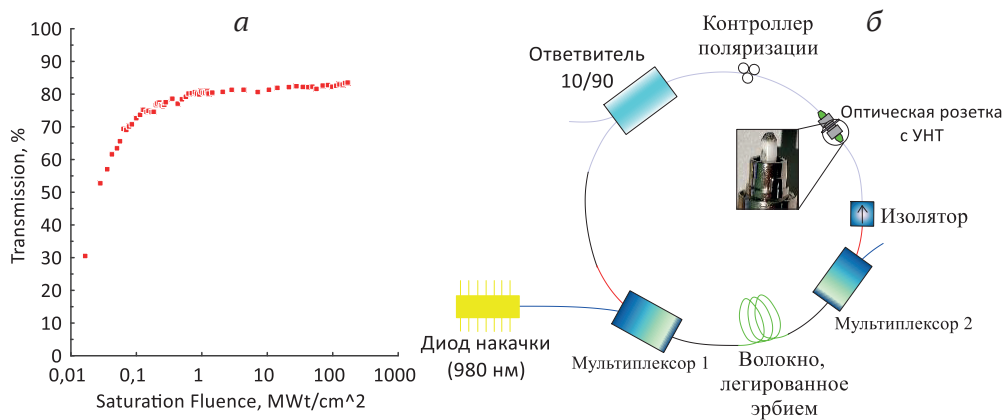


Рис. 1. Зависимость пропускания образца от пиковой интенсивности пропускаемого импульсного излучения (а). Схема волоконного лазера при исследованиях групповой динамики импульсов (б)

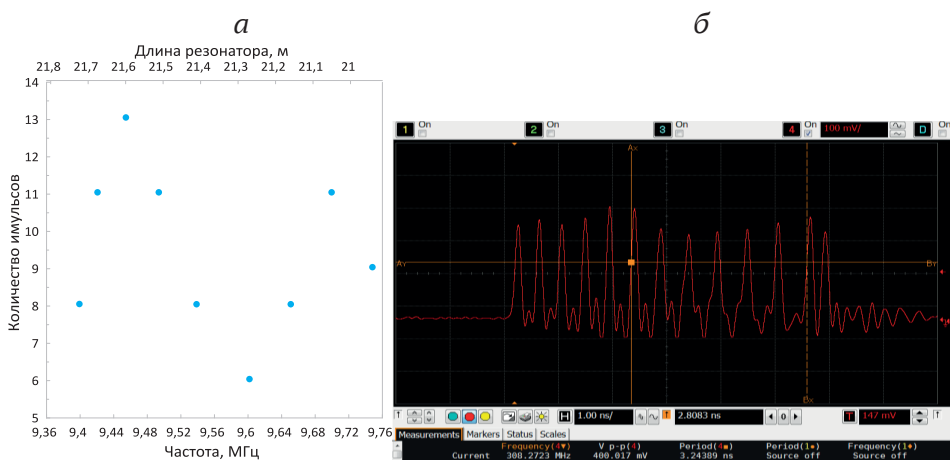


Рис. 2. Зависимость расстояния между импульсами в связанном состоянии от тока накачки (а). Связанные состояния импульсов при длине резонатора 21,6 м (б)

при длине резонатора 21,6 м (частота 9,46 МГц) (см. рис. 2, б). Известная классификация позволяет отнести такие комплексы импульсов к связанным состояниям со слабой связью [3].

Известно, что при изменении длины резонатора может существенно изменяться интенсивность акустической волны GAWBS, возбуждаемой импульсами, распространяющимися в кольцевом резонаторе (например, при резонансном совпадении гармоники фундаментальной частоты с частотой одной из акустических мод семейства R_{0m} [4]). Результаты эксперимента могут быть интерпретированы как доказательство важности акустического взаимодействия при формировании групповой динамики импульсов в волоконном лазере.

Литература

1. Dianov E. M., Luchnikov A. V., Pilipetskii A. N., Starodumov A. N. // Opt. Lett. 1990. Vol. 15. P. 314–316.
2. Gumenyuk R., Korobko D. A., Zolotovskiy I. O., Okhotnikov O. G. Role of cavity dispersion on soliton grouping in a fiber lasers // Opt. Express. Vol. 22. P. 1896–1905.
3. Olivier M., Piché M. Origin of the bound states of pulses in the stretched-pulse fiber laser // Opt. Express. Vol. 17. P. 405–418.
4. Ribenek V. A., Itrn P. A., Korobko D. A., Fotiadi A. A. Double harmonic mode-locking in soliton fiber ring laser acquired through the resonant optoacoustic coupling // APL Photonics. 2024. Vol. 9 (5).