

СИНХРОНИЗАЦИЯ МОД В ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ В РЕЖИМЕ СОЛИТОННОЙ ДВУФАЗНОЙ СМЕСИ

✉ И. А. Волков¹, В. А. Камынин², А. В. Судьин¹,
С. Н. Ушаков^{1,2}, К. Н. Нищев¹, В. Б. Цветков²

¹ *Национальный исследовательский*

Мордовский государственный университет, Саранск, Россия

² *Институт общей физики им. А. М. Прохорова, Москва, Россия*

✉ emofan_80@mail.ru

Диссипативные солитоны (ДС) — повсеместно распространенные локальные структуры в неравновесных системах с частицеподобными свойствами. Общая тенденция поведения в волоконных лазерах с пассивной синхронизацией мод в области сильной накачки связана с формированием нескольких солитонов в резонаторе и способна самоорганизовываться с образованием солитоноподобных структур (солитонная молекула, кристалл, поликристалл, жидкость и т. д.) [1, 2]. Из-за большого сходства с состояниями вещества солитоноподобные структуры всегда были центром исследований в области динамики диссипативных солитонов. Поэтому изучение характеристик солитоноподобных структур имеет большое значение для изучения и выявления аналогии связи между микросферой и макромиром.

В этой работе мы сообщаем о генерации в режиме солитонной двухфазной смеси в волоконном лазере с пассивной синхронизацией мод на основе нелинейного вращения плоскости поляризации (НВП) как насыщающегося поглотителя в аномальной дисперсии.

Схема волоконного кольцевого лазера с длиной резонатора ~ 40 м представлена на рис. 1. Резонатор включает в себя 3 м волокна, солегированного ионами $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ и 30 м стандартного одномодового волокна E1. EYDCF накачивается многомодовым лазерным диодом BWT мощностью 9 Вт при 976 нм через $(2 + 1) \times 1$ сумматор накачки. Изолятор используется для обеспечения однонаправленного распространения оптического излучения. Поляризационный делитель вместе с двумя контроллерами поляризации позволяют реализовать режим синхронизации мод за счет НВП.

Регистрация оптических спектров производилась спектроанализатором Yokogawa AQ6370C. Радиочастотные спектры регистрировались анализатором спектра GWINSTEK GSP-7830. Для регистрации последовательности импульсов использовались высокоскоростной приемник излучения на основе InGaAs PIN-фотодиода (5 ГГц) и осциллографы GWINSTEK

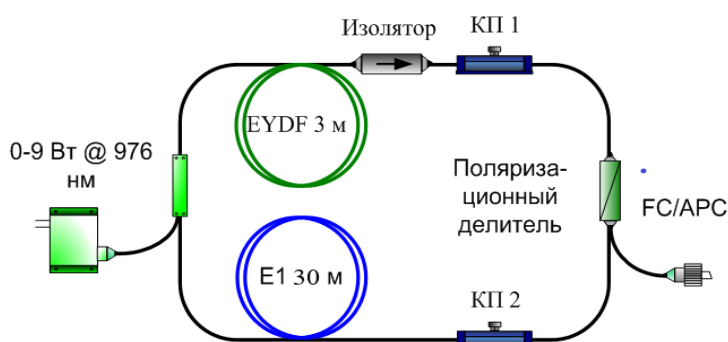


Рис. 1. Схема волоконного лазера с пассивной синхронизацией мод

GDS-3000 (500 МГц) и Tektronix MSO 5204 (2 ГГц), запись автокорреляционной функции (АКФ) осуществлялась при помощи Femtocrome FR-103MN.

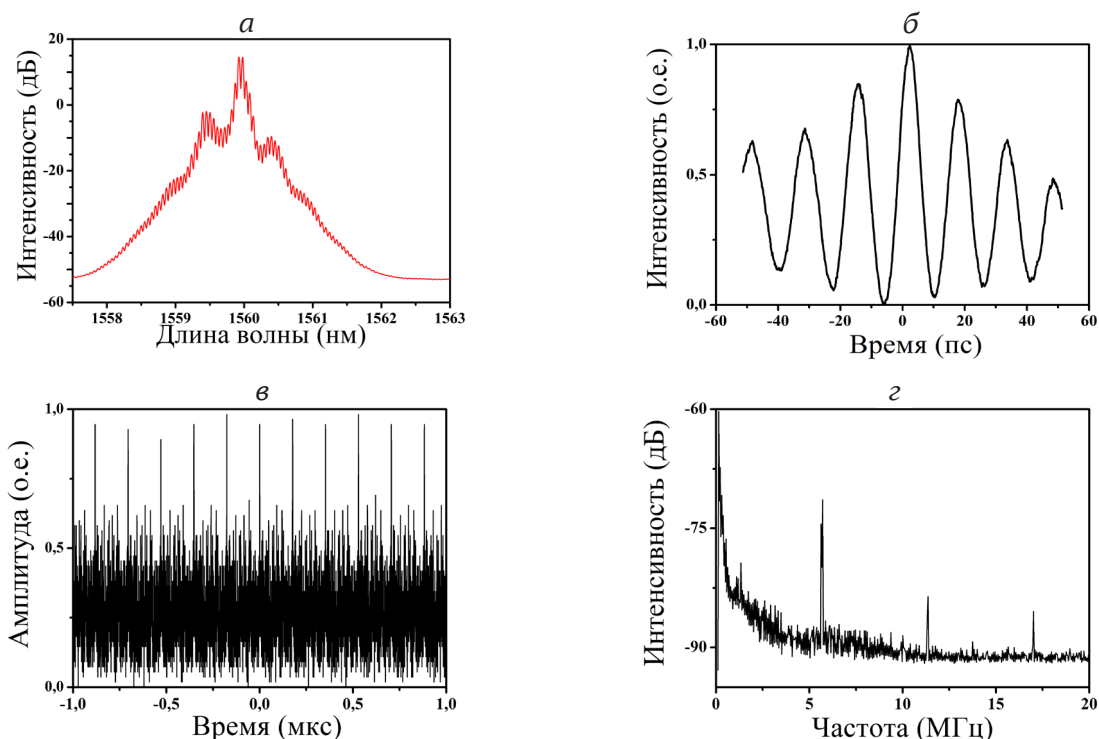


Рис. 2. Оптические характеристики импульсного режима волоконного лазера на НВПП

При регулировке положений контроллеров поляризации и мощности накачки был получен режим, оптические характеристики которого представлены на рис. 2. Оптический спектр (рис. 2, а) демонстрирует умеренную модуляцию, показывающую взаимную когерентность между импульсами. Спектральный период составляет 0,056 нм, что приводит к временной задержке между соседними импульсами ≈ 16 пс, что подтверждается АКФ на рис. 2, б, в которой присутствует пьедестал. Почти треугольная огибающая АКФ, все пики которой имеют одинаковую ширину 4,6 пс, характерна для связанных состояний регулярно расположенных солитонов. Как видно на осциллограмме последовательности импульсов (рис. 2, в), период ≈ 175 нс ($f = 5,7$ МГц), что соответствует длине резонатора. Это также подтверждается на радиочастотном спектре (рис. 2, г). Стоит отметить, что в осциллограмме импульсов присутствует движение отдельных импульсов между основным периодом. Таким образом, общее распределение солитонов внутри резонатора представляет собой некогерентную последовательность чередующегося ряда твердого и жидкого состояний, которая называется солитонной двухфазной смесью [3].

Список литературы

1. He J., Zhou M., Liu C. et al. Collision and dissociation of soliton molecules triggered by gain perturbation in passively mode-locked fiber laser // Opt. Express. 2023. Vol. 34. № 14. P. 22776–22789.
2. Amrani F., Haboucha A., Salhi M. et al. Dissipative solitons compounds in a fiber laser. Analogy with the states of the matter // Appl. Phys. B. 2010. Vol. 99. P. 107–114.
3. Amrani F., Salhi M., Leblond H. et al. Intricate solitons state in passively mode-locked fiber lasers // Opt. Express. 2011. Vol. 19. № 14. P. 13134–13139.