

ГЕНЕРАЦИЯ СВЯЗАННОЙ СОЛИТОННОЙ СТРУКТУРЫ В ВОЛОКОННО-КОЛЬЦЕВОМ Er/Yb-ЛАЗЕРЕ С ПАССИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД

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

¹ Мордовский государственный университет, Саранск, Россия

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

✉ emofan_80@mail.ru

Диссипативные солитоны (ДС) — это локализованные структуры, возникающие в диссипативной системе, далекой от равновесия и обменивающейся энергией и веществом с окружающей средой [1]. Концепция ДС обеспечивает общую модель для интерпретации сложной нелинейной динамики в различных областях, таких как гидродинамика, конденсат Бозе — Эйнштейна, нелинейная оптика и т. д. Волоконные лазеры с пассивной синхронизацией мод представляют собой типичную диссипативную систему. Такие системы самоорганизуются по минимальному уровню шума и сходятся к аттракторам, образованным сложным балансом между нелинейностью, дисперсией, потерями, усилением. ДС взаимодействуют друг с другом посредством различных механизмов, таких как прямое когерентное перекрытие хвоста импульса, дисперсионная волна, оптико-механический эффект, медленные процессы истощения и восстановления усиления, квазинепрерывная волна (непрерывная волна), силы Казимира и т. д. [2]. Таким образом, ДС могут формировать сложные структуры (солитонные молекулы, кристаллы, гармоническая синхронизация мод) и демонстрировать многочисленные динамические явления (солитонная пульсация, солитонный взрыв, солитонный дождь и шумоподобные импульсы). Очевидно, что волоконные лазеры с пассивной синхронизацией мод представляют собой идеальную платформу для исследования процессов формирования, эволюции и уничтожения ДС и понимания механизма самоорганизации в сложных диссипативных системах.

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

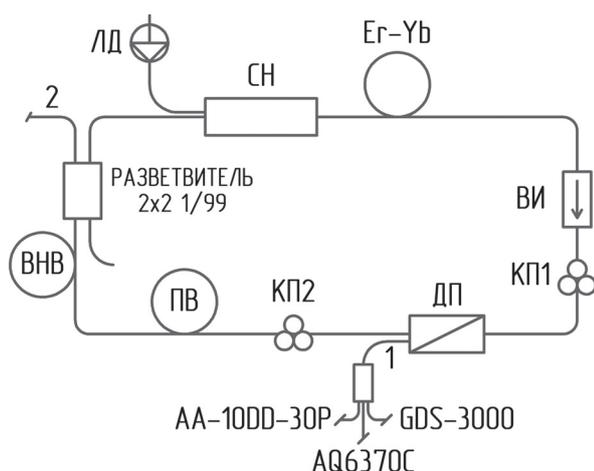


Рис. 1. Схема волоконного лазера с пассивной синхронизацией мод

Схема волоконного лазерного источника представлена на рис. 1. Однонаправленный кольцевой резонатор, накачиваемый лазерным диодом (ЛД), с общей длиной около 215 м включает в себя сумматор накачки (СН), активное Er/Yb-волокно, волоконный изолятор (ВИ), два контроллера поляризации (КП1 и КП2), делитель поляризации (ДП), бухты пассивного волокна (ПВ), отрезок высококонцевое волокна Ge225 (ВНВ) и разветвителя 99/1. Синхронизация мод достигается за счет регулировки параметров мощности накачки и положения контроллеров поляризации (КП1 и КП2). К делителю поляризации

(основной выход) подваривался разветвитель 1/3 для одновременного контроля выходных характеристик. Характеристики лазерного излучения регистрировались на основном (1) и дополнительном (2) выходах анализатором оптического спектра Yokogawa AQ6370C, осциллографом GWINSTEK GDS-3000, измерителем мощности и сканирующим автокоррелятором AA-10DD-30P.

При регулировке положений контроллеров поляризации и установке мощности накачки 2,5 Вт был получен режим, оптические и временные характеристики которого представлены на рис. 2. В оптическом спектре на 1-м выходе (см. рис. 2, а, черная линия) присутствуют две компоненты на длинах волн 1535 и 1542 нм, содержащие пики Келли, что говорит о солитонной природе импульсов. На 2-м выходе в спектре коротковолновой компоненты наблюдается появление умеренной модуляции, а для длинноволновой — происходит перераспределение интенсивности боковых пиков Келли. Как видно на осциллограмме (см. рис. 2, б, вставка), частота следования импульсов 0,95 МГц, что соответствует обходу резонатора. Стоит отметить, что на осциллограмме каждой временной огибающей наблюдается короткий пиковый импульс (отмечен стрелкой). Он существенно короче времени разрешения прибора и регистрируется огибающей импульса шириной около 300 нс. На рис. 2, в показана автокорреляционная функция (АКФ) импульса, состоящая из набора равноудаленных (3,7 пс) пиков с уменьшающейся амплитудой. Такая АКФ характерна для связанных состояний регулярно расположенных солитонов [3].

В данной работе была продемонстрирована генерация связанной солитонной структуры в кольцевом волоконном лазере на основе нелинейного вращения плоскости поляризации. Эти результаты будут полезны при изучении сложных нелинейных взаимодействий внутри резонатора.

Литература

1. Grelu P., Akhmediev N. Dissipative solitons for mode-locked lasers // Nat. Photonics. 2012. Vol. 6 (2). P. 84–92.
2. Liang H., Zhao X., Liu B. et al. Real-time dynamics of soliton collision in a bound-state soliton fiber laser // Nanophotonics. 2020. Vol. 9 (7). P. 1921–1929.
3. Amrani F., Haboucha A., Salhi M. Dissipative solitons compounds in a fiber laser. Analogy with the states of the matter // Appl. Phys. B. 2010. Vol. 99. P. 107–114.

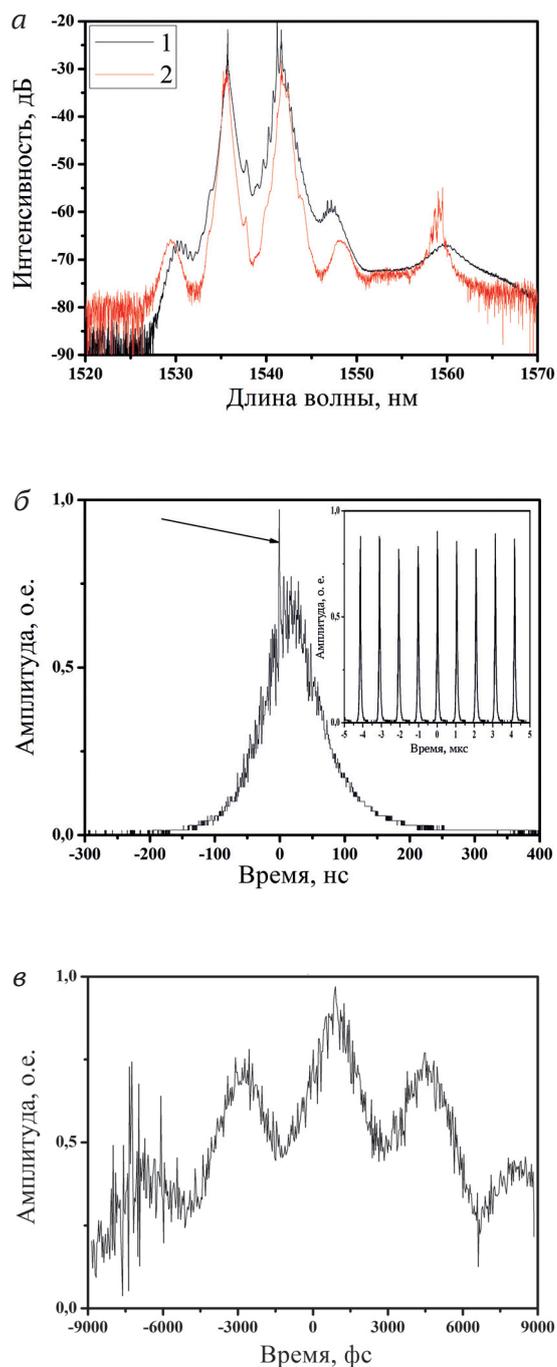


Рис. 2. Оптические характеристики импульсного режима волоконного лазера на НВП