

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В ОБЛАСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ РЕЖИМА СИНХРОНИЗАЦИИ МОД В ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ НА ЭФФЕКТЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИИ *

✉С. В. Чирков, Н. Н. Смолянинов, В. Д. Ефремов, А. А. Антропов, Д. С. Харенко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия

✉s.chirkov@g.nsu.ru

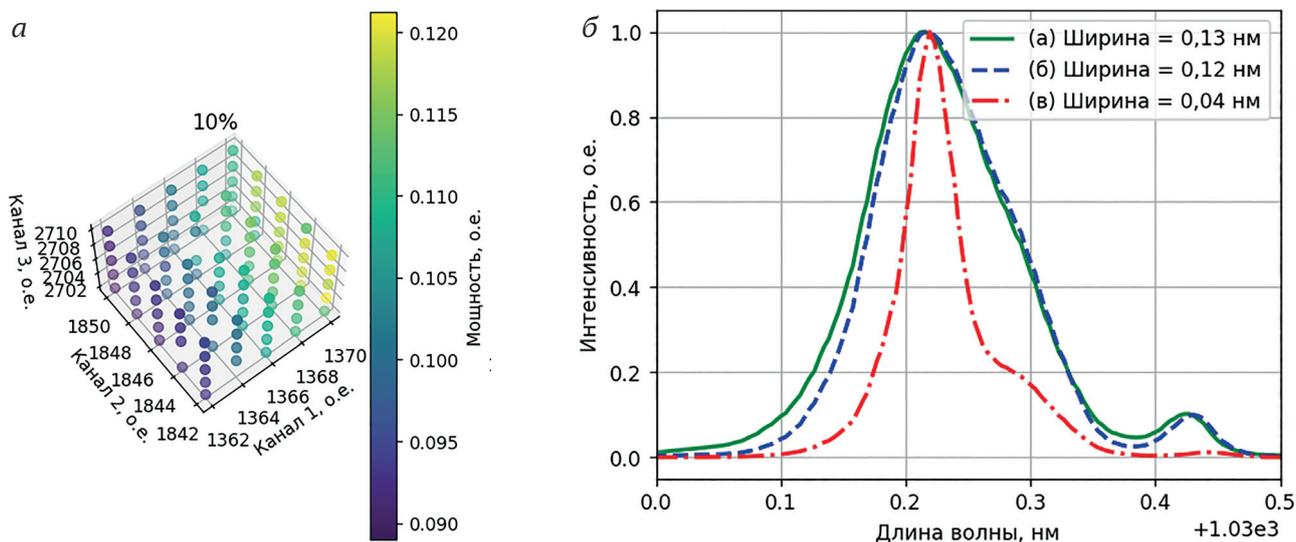
Лазеры с синхронизацией мод являются привлекательным источником ультракоротких импульсов, длительность которых достигает пико- и даже фемтосекунд. Они находят применение в нелинейной микроскопии, прецизионной хирургии, а также востребованы для высокоскоростной передачи данных. Одним из используемых типов лазеров являются волоконные лазеры, обладающие такими преимуществами, как эффективный теплоотвод, отсутствие объемной оптики, высокое качество выходного сигнала. Для достижения синхронизации мод могут применяться модуляторы (амплитудные, частотные), различные типы насыщающихся поглотителей [1], эффект керровской линзы, а также характерные исключительно для волоконного исполнения искусственные насыщающиеся поглотители на основе нелинейного петлевого зеркала или эффекта нелинейной эволюции поляризации [2]. Для последнего характерна вариативность параметров в широких пределах [3, 4], однако в то же время они оказываются чувствительны к внешним физическим воздействиям, таким как вибрации, изменение температуры. Вследствие этого возникает необходимость непрерывного контроля параметров излучения для стабильной, долговременной и возобновляемой работы лазера. Новизна данной работы заключается в отдельном исследовании как эффекта самозапуска режима синхронизации мод, так и эффекта гистерезиса для волоконного лазера на эффекте нелинейной эволюции поляризации, резонатор которого состоит преимущественно из волокна с сохранением поляризации и включает в себя узкополосную брэгговскую решетку с аномальной дисперсией и электронный контроллер поляризации.

Генерация излучения происходит на длине волны 1030 нм с шириной спектра оптического порядка 0,3 нм, что определяется параметрами используемой чирпованной брэгговской решетки. Также, из-за большого аномального чирпа решетки, значительно превышающего суммарную нормальную дисперсию используемых оптических волокон, происходило формирование консервативных солитонов. Активной средой лазера является волокно, легированное иттербием. Управление поведением излучения осуществляется с помощью изменения тока диода накачки и состояния трехканального электронного контроллера поляризации, имитирующего действие волновых пластинок. Выходное излучение имеет линейную поляризацию. В ходе экспериментов составлена карта самозапуска стабильной импульсной генерации, в которой обнаружено плавное изменение мощности и координат центра оптического спектра. Было исследовано поведение оптического (см. рисунок, а) и радиочастотного спектров в области существования режима синхронизации мод. Несмотря на постоянство энергии, ширина оптического спектра уменьшалась от 0,13 до 0,04 нм (см. рисунок, б), что говорит об увеличе-

* Исследование выполнено в рамках государственного задания ИАиЭ СО РАН (проект № FWNG-2024-0015).

© С. В. Чирков, Н. Н. Смолянинов, В. Д. Ефремов, А. А. Антропов, Д. С. Харенко, 2024

нии доли непрерывного излучения. Была достигнута воспроизводимость параметров излучения в случае запуска одноимпульсного режима синхронизации мод в процессе изменения состояния контроллера поляризации. Стоит отметить, что также имела место воспроизводимость как абсолютных значений ширины оптического спектра, координат его центра и мощности, так и относительных значений соседних точек измерений.



Распределение мощности излучения в области самозапуска режима синхронизации мод (а).
Изменение формы спектра по мере удаления от точки запуска (б)

Таким образом, получены карты самозапуска и существования режима синхронизации мод, измерены закономерности поведения параметров излучения в пределах этих областей и исследована их воспроизводимость.

Литература

1. Svelto O. Principles of Lasers, 4th ed. N. Y.: Springer, 2010.
2. Hofer M., Fermann M.E., Harberl F. et al. Mode-locking with cross-phase and self-phase modulation // Opt. Lett. 1991. Vol. 16. P. 502–504.
3. Bednyakova E., Kharenko D.S., Yarovikov A.P. Numerical analysis of the transmission function of NPE-based saturable absorber in a mode-locked fiber laser // JOSA B. 2020. Vol. 37. P. 2763–2767.
4. Winters D.G., Kirchner M.S., Backus S.J., Kapteyn H.C. Electronic initiation and optimization of nonlinear polarization evolution mode-locking in a fiber laser // Opt. Express. 2017. Vol. 25. P. 33216–33225.