

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ МОД ВОЛОКОННОГО ЭРБИЕВОГО ЛАЗЕРА С НЕЛИНЕЙНЫМ ПЕТЛЕВЫМ ЗЕРКАЛОМ *

✉А.А. Филонов¹, В.С. Пивцов^{1,2}, Н.А. Коляда^{1,3}

¹Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

³Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия

✉aa.filonov@mail.ru

Волоконные фемтосекундные лазеры (ВФЛ) получили широкое распространение в различных областях науки и техники. Такие лазеры используются в медицине, промышленности, навигации и пр. В частности, на основе ВФЛ создаются волоконные фемтосекундные синтезаторы частот (ВФСЧ) [1], которые применяются для переноса стабильности частоты оптического стандарта в оптический, микроволновый и СВЧ-диапазон. На данный момент наиболее перспективными ВФЛ являются лазеры с нелинейным петлевым зеркалом [2], или NALM-лазеры (nonlinear amplifying loop mirror). Главным преимуществом таких лазеров является возможность их реализации из волоконных элементов с сохранением поляризации. Это позволяет уменьшить влияние различных факторов окружающей среды, таких как колебания температуры, влажности, давления воздуха или вибрации, на выходные характеристики ВФЛ (частота, мощность и т. д.).

В рамках представленной работы был реализован волоконный фемтосекундный эрбиевый NALM-лазер с резонатором в виде цифры 9 и впервые проведено исследование его выходных характеристик. Резонатор лазера (см. рисунок, а) включает в себя волоконную кольцевую часть и линейную часть, выполненную из объемных оптических элементов. Линейная и кольцевая часть объединены с помощью поляризационного делителя с волоконными выводами (волоконный PBS). В кольцевой части лазерное излучение распространяется одновременно по часовой и против часовой стрелки. Разность фаз этих двух излучений влияет на пропускание и отражение нелинейного зеркала, что достигается за счет несимметричного расположения активного эрбиевого волокна относительно выхода из петлевого зеркала и комбинации вращателя Фарадея и фазовых пластинок $\lambda/2$ и $\lambda/4$ в линейной части резонатора. На рисунке (б) представлена карта областей самозапуска синхронизации мод при мощности излучения диодного лазера накачки 900 мВт (по аналогии с работой [3]). В зеленых областях карты самозапуск происходит при установке указанной мощности накачки без каких-либо дополнительных настроек резонатора. Вывод излучения из резонатора лазера реализован с помощью поляризационного светоделительного кубика.

При самозапуске синхронизации мод (при высокой мощности накачки) зарегистрирован многоимпульсный режим с нечетным количеством импульсов на периоде обхода резонатора. При этом огибающая оптического спектра имела от одного до трех пиков, а центральная длина волны излучения составила 1565 нм. Ширина оптического спектра на полувысоте (FWHM) менялась от 12 до 53 нм в зависимости от мощности накачки лазерного диода (ЛД) и углов

* Исследование выполнено в рамках государственного задания с регистрационным номером НИОКР 121033100064-9 с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Фемтосекундный лазерный комплекс» на базе ИЛФ СО РАН.

© А. А. Филонов, В. С. Пивцов, Н. А. Коляда, 2024

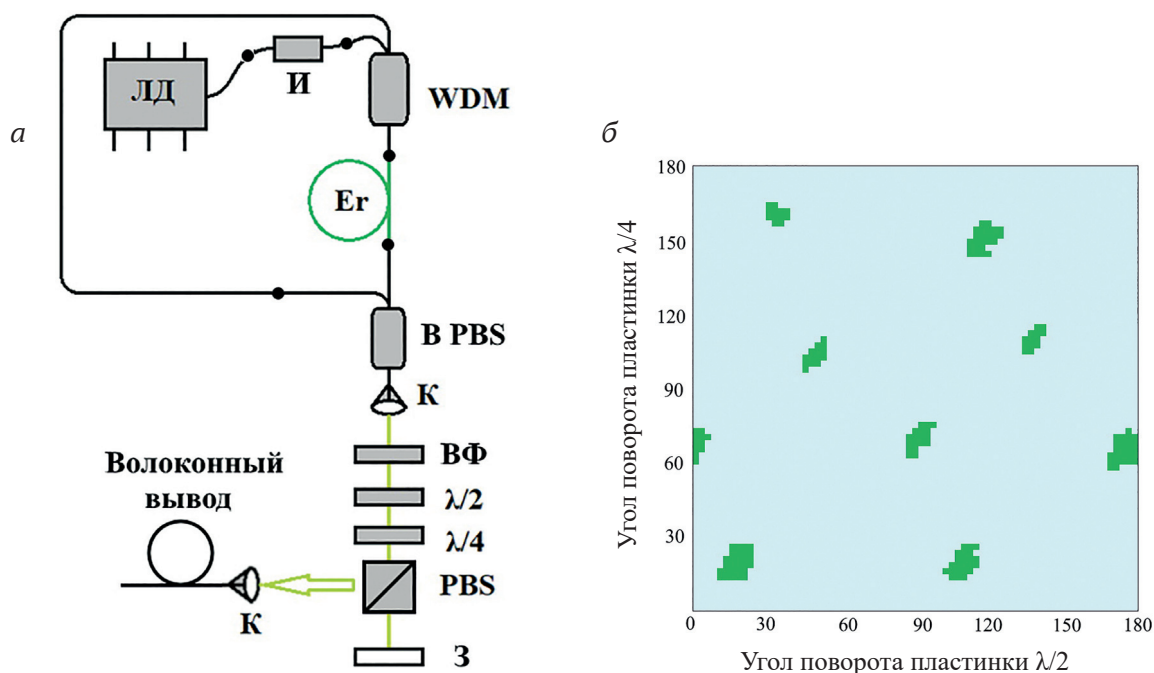


Схема резонатора волоконного лазера (а): ЛД — лазерный диод накачки, И — изолятор, WDM — волоконный мультиплексор, Er — волокно, легированное эрбием, В PBS — волоконный поляризационный светоделитель, К — коллиматор, ВФ — вращатель Фарадея, PBS — поляризационный светоделитель, З — зеркало. Карта самозапуска синхронизации мод при мощности лазерного диода накачки 900 мВт и изменении угла поворота фазовых пластинок с шагом 2,5° (б)

поворота фазовых пластинок. Частота повторения импульсов — 56,7 МГц. Уровень сигнал/шум первой гармоники межмодовых биений — 75 дБ, на частоте близкой к 4 ГГц — 68 дБ (разрешение радиочастотного анализатора 100 кГц). С уменьшением мощности накачки волоконный лазер в большинстве случаев переходил в одноимпульсной режим генерации, наименьшая длительность импульса составила 600 фс.

Таким образом, в данной работе впервые проведено подробное исследование различных режимов генерации волоконного фемтосекундного эрбиевого NALM-лазера с резонатором в виде цифры 9 с использованием фазовращателя, выполненного из объемных оптических элементов. В частности, впервые проведено исследование оптического спектра излучения лазера и длительности его импульсов в зависимости от разницы фаз двух световых полей внутри резонатора, вносимой фазовращателем, и в зависимости от мощности накачки лазерного диода.

Дальнейшие работы будут направлены на получение устойчивого одноимпульсного режима синхронизации мод за счет изменения суммарной дисперсии резонатора лазера. Также будут проведены работы по увеличению частоты повторения импульсов.

Литература

1. Koliada N.A., Pivtsov V.S., Kuznetsov S.A. et al. All polarization-maintaining fiber laser architecture for robust femtosecond pulse generation // Laser. Phys. Lett. 2021. Vol. 19. P. 015102.
2. Hänsel W., Hoogland H., Giunta M. et al. All polarization-maintaining fiber laser architecture for robust femtosecond pulse generation // Appl. Phys. B. 2017. Vol. 123. P. 41.
3. Li J., Jiang W., Meng Ya., Wang F. Hysteresis of a passively mode-locked fiber laser: effects from cavity dispersion // Opt. Lett. 2022. Vol. 47. P. 5668–5671.