

Динамика частотно-модулированного лазерного излучения в кольцевых волоконных схемах на основе нанополупроводниковых насыщающихся поглотителей

А.С. Абрамов^{1,*}, С.Г. Моисеев^{1,2}, Д.Г. Санников¹

¹ Ульяновский государственный университет

² Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

*E-mail: aleksei__abramov@mail.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.169-171

Волоконные лазеры, позволяющие получать высокочастотные последовательности ультракоротких импульсов (УКИ) с частотой следования более 1 ГГц, востребованы во многих технических областях. В оптической метрологии и молекулярной спектроскопии высокостабильные лазерные системы УКИ позволяют получать выходные данные с улучшенным отношением сигнал/шум при уменьшении времени измерения. Также подобные лазеры могут найти применение в системах высокоскоростной передачи данных и системах навигации с высокоточными стандартами частоты. Особое место ВЧ лазерные источники занимают в радиофотонике, являясь мощным стимулом для развития технологий высокостабильных непрерывных и импульсных лазеров, в том числе лазеров УКИ [1,2]. К настоящему времени один из способов создания ВЧ лазерных систем заключается в реализации режима гармонической синхронизации мод, т. е. режиме, при котором в резонаторе одновременно существуют несколько импульсов на заданных временных интервалах. Синхронизация мод, например, может быть получена с помощью насыщающихся поглотителей на основе углеродных нанотрубок [3].

Основным элементом рассматриваемого ВЧ лазера с гармонической синхронизацией мод является задающий генератор, представляющий собой кольцевой волоконный резонатор. Предлагаемая в работе кольцевая схема состоит из активной фотоннокристаллической структуры (amplifying PC) - активная ФК структура с малой продольной модуляцией показателя преломления, совмещающей функции узкополосного усилителя и фильтра мощности, оптического изолятора (iso), обеспечивающего однонаправленное распространение излучения в резонаторе, участка стандартного одномодового волокна (SMF), выходного ответвителя (output coupler) и насыщающегося поглотителя на основе углеродных наноструктур (CNT-SA).

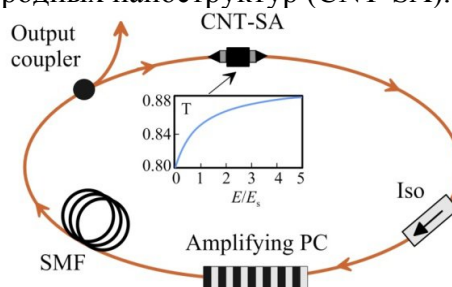


Рис.1. Кольцевая волоконная схема генерации УКИ, содержащая насыщающийся поглотитель на основе УНТ. На вставке - функция пропускания поглотителя в зависимости от входящей мощности.

В настоящее время в сверхбыстрых волоконных лазерах используются различные типы насыщающихся поглотителей из УНТ [3]. Типичная функция пропускания углеродной наноструктуры в зависимости от уровня мощности в резонаторе представлена на вставке к рис. 1 и может быть определена как $T(E) = 1 - \alpha_0 \cdot (1 + E/E_{sat})^{-1} - \alpha_{ns}$. Здесь $\alpha_0 = 0.1$ - глубина модуляции, $\alpha_{ns} = 0.1$ - ненасыщаемые потери, $E_{sat} = 10$ пДж - энергия насыщения.

Режим стационарной генерации реализуется при $N > 2000$ (N - число проходов излучения по резонатору). На выходе из кольцевого резонатора излучение характеризуется сильной фазовой и относительно малой амплитудной модуляцией. Типичный спектр пропускания активной ФК структуры характеризуется ярко выраженной запрещенной зоной, ширина которой определяется глубиной модуляции показателя преломления в активной структуре. На рис. 2 приведены характеристики излучения, выходящего из задающего генератора без насыщающегося УНТ-поглотителя (а) и с УНТ-поглотителем (б). Левая колонка - спектры выходящего из резонатора излучения, правая колонка - генерируемые последовательности импульсов (красные кривые) и их фазы (черные кривые).

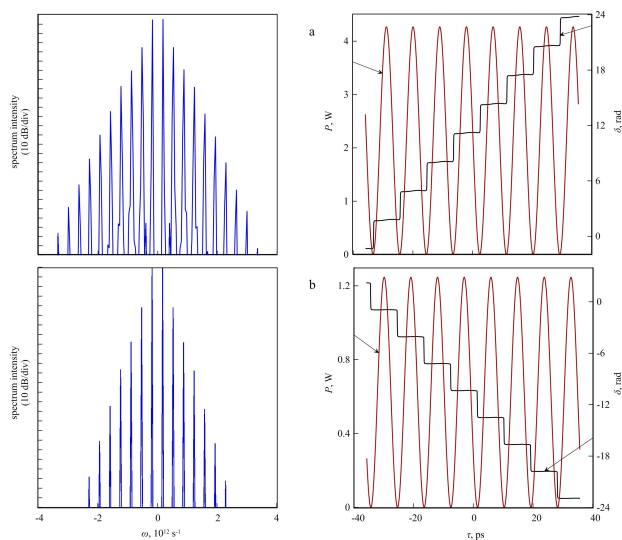


Рис.2. Характеристики излучения, выходящего из кольцевого резонатора без поглотителя (а) и с УНТ-поглотителем (б). Левая колонка - спектры излучения, правая колонка - импульсы (красные кривые) и фазы (черные кривые).

УНТ-поглотитель в кольцевых схемах может использоваться в качестве дополнительного элемента резонатора, осуществляющего контроль мощности распространяющегося излучения. Наличие поглотителя практически не влияет на длительность генерируемых импульсов и величину набега фаз. В обоих рассматриваемых случаях излучение характеризуется сильной фазовой модуляцией. В схемах, содержащих УНТ-поглотитель общая ширина генерируемого спектра уменьшается (б) с одновременным уменьшением ширины отдельной линий. При этом качество генерируемых спектральных линий улучшается, их спектральная яркость сохраняется. Таким образом кольцевые волоконные схемы с УНТ-поглотителями могут быть использованы для генерации фазово-модулированного излучения с качественным широкополосным спектром.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-19-00880).

Литература

- [1] Bandelow U., Radziunas M., et al. *Opt. Quantum Electron.*, **38**, 495 (2006)
- [2] Kippenberg T.J., Holzwarth R., Diddams S.A. *Science*, **332**, 6029 (2011)
- [3] L. Dai, Z. Huang, et al. *Nanophotonics* **10**, 749 (2020)