

Генерация перестраиваемых спектральных гребней в кольцевых схемах с активными фотоннокристаллическими структурами

А.С. Абрамов^{1,*}, Д.А. Коробко¹, В.А. Лапин¹, А.А. Фотиади^{1,2,3}

¹ Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

²Optoelectronics and Measurement Techniques Unit, University of Oulu, Oulu, Finland

³Electromagnetism and Telecommunication Department, University of Mons, Mons, B-7000, Belgium

*E-mail: aleksei__abramov@mail.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.68-69

Волоконные лазерные системы для генерации оптических широкополосных спектральных гребней представляют большой интерес для многих технических приложений. К ним можно отнести задачи оптической связи, спектроскопии, метрологии, микроволновой фотоники и т.д. [1]. Стандартная гребенка частот представляет собой композицию дискретных узких эквидистантно расположенных лазерных линий. Центральная линия в гребне при этом имеет максимальную яркость. С практической точки зрения наиболее привлекательными источниками для генерации спектральных гребней являются волоконные солитонные лазеры с гармонической синхронизацией мод [2].

В настоящей работе рассмотрена волоконная кольцевая схема для генерации частотно-модулированного излучения в режиме гармонической синхронизации мод. Основной частью рассматриваемой в работе модели является кольцевой волоконный генератор, состоящий из активной ФК структуры, сегмента стандартного одномодового волокна, изолятора, обеспечивающего однонаправленное распространение сигнала в резонаторе, и оптического ответвителя. Ключевым элементом кольцевой лазерной схемы является периодическая активная структура, с малой глубиной модуляции показателя преломления (ПП) $n = n_0(1 + \Delta n \cos 2\pi z/\Lambda)$, где n_0 - средний ПП, Λ - период изменения ПП, z - продольная координата. В качестве таких структур могут выступать брэгговские решетки, вписанные в сердцевину волокна, легированную ионами Er, Yb или Tm [3]. На практике представляет интерес ситуация, когда величина глубины модуляции ПП Δn может изменяться в процессе режима генерации. Данное условие возможно реализовать при изменении брэгговской длины волны с ростом рабочей температуры. Так, температурная зависимость брэгговской длины волны волоконной решетки ПП может быть выражена как $\lambda_{br}(T) = 1305.59 - 3.68 \cdot 10^{-4} T + 3.03 \cdot 10^{-5} T^2 - 3.36 \cdot 10^{-8} T^3$ [4], где λ_{br} - рабочая длина волны брэгговской решетки в нанометрах, а T - температура в кельвинах. Эффективный ПП структуры при этом определяется как $n_{eff} = \lambda_{br} / 2L$, L - период решетки. При рабочих температурах $T = 0..600$ K и периоде ФК структуры $L = 430$ нм температурная вариация ПП составит $\Delta n_{eff} / \Delta T \sim 10^{-5} K^{-1}$. Исследована зависимость частоты следования сигнала от температуры и глубины модуляции. Показано, что при увеличении рабочей температуры T наблюдается линейный рост эффективного показателя преломления за счет увеличения ширины запрещенной зоны ФК структуры.

Изменение глубины модуляции ПП приводит к перестройке спектра активной ФК структуры, что, в свою очередь, влияет на характеристики выходящего из задающего генератора излучения. На **рис. 1** показаны

характеристики излучения, выходящего из кольцевого резонатора. Ширина фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ) зависит от глубины модуляции ПП и определяет частоту Ω следования генерируемых УКИ. Численные расчеты проводились для трех различных значений глубины модуляции $m = 1.5 \cdot 10^{-4}, 6.5 \cdot 10^{-4}, 13.5 \cdot 10^{-4}$. Показано, что для глубины модуляции $m = 1.5 \cdot 10^{-4}$ ширина запрещенной зоны Ω практически не зависит от рабочей температуры. Для значений параметров $m = 6.5 \cdot 10^{-4}$ и $m = 13.5 \cdot 10^{-4}$ характерен линейный рост частоты Ω , которая при $T = 600 \text{ K}$ достигает значения $\Omega = 1.71 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$. Изменение температурного режима позволяет осуществить перестройку спектральной картины и частоты следования генерируемых импульсов. Так, при глубине модуляции ПП $m = 13.5 \cdot 10^{-4}$ изменение рабочей температуры от 100 до 600 K приводит к изменению частоты следования генерируемых импульсов от $\Omega = 1.65 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$ до $\Omega = 1.71 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$.

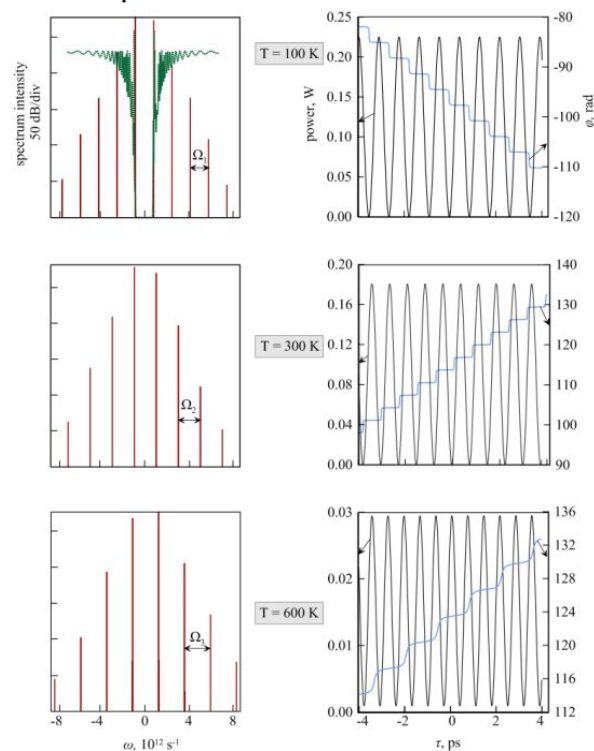


Рис.1. Спектры (левая колонка) и импульсы и фазы (правая колонка) выходящего из кольцевого резонатора излучения для рабочих температур 100, 300 и 600 K. Зеленая кривая - спектр пропускания ФК структуры.

Таким образом, показана возможность использования соответствующих кольцевых резонаторов в качестве полностью волоконных генераторов с возможностью перестройки линейчатого спектра. Рассмотрена схема формирования пикосекундных импульсов с субтерагерцевой частотой повторения из исходного непрерывного излучения со слабой амплитудной модуляцией.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проекты № 23-22-00412, 23-79-30017).

Литература

- [1] Kippenberg T.J., Holzwarth R., Diddams S.A. *Science*, **332**, 6029 (2011)
- [2] Fermann M. E., Hartl I. *Nature photonics*, **7**, 868 (2013)
- [3] Zhao Y., Chang J. et al. *Opt. express*, **21**, 22515 (2013)
- [4] M. B. Reid, M. Ozcan. *Opt. Eng.* **37**, 237 (1998)