

Искусственные рэлеевские волокна и их применение в лазерах

**С.М. Попов^{1,*}, О.В. Бутов², А.П. Базакуца²,
М.Ю. Вяткин¹, А.А. Фотиади^{3,4}, Ю.К. Чаморовский¹**

¹*Фрязинский филиал института Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН
г. Фрязино, Россия*

²*Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН г. Москва, Россия*

³*Ульяновский Государственный университет, г. Ульяновск, Россия*

⁴*University of Mons г. Монс, Бельгия*

*E-mail: sergei@popov.eu.org

DOI: 10.31868/RFL2020.49-50

На данный момент оптические волокна (ОВ) находят своё применение в различных отраслях науки и техники. Помимо уже ставшего обыденным использование ОВ в информационных системах (линии связи и волоконные датчики), так же развивается использование ОВ в лазерных системах. Обычно для получения лазерной генерации используются ОВ, легированные такими ионами редкоземельных элементов, как эрбий, иттербий, висмут, тулий и пр. Последнее время активно развивается новое направление – т.н. случайные волоконные лазеры [1–3]. Данное направление фотоники стало предметом большого интереса для исследователей во всем мире в связи с тем, что случайные волоконные лазеры способны генерировать свет с уникальными эксплуатационными характеристиками, не предъявляя жестких требований к оптическому резонатору. При этом усиление достигается за счёт эффектов рассеяния Рамана [2] или рассеяния Мандельштама–Бриллюэна [3]. Обратная связь в ОВ достигается за счёт слабых стационарных («вмороженных в сетку стекла») центров рассеяния, равномерно распределенных по длине волокна (Рэлеевское рассеяние). Это приводит к тому, что резонаторы случайных лазеров строятся с использованием длинных (1–100 км) ОВ. Современные тенденции случайных волоконных лазеров связаны с переходом к лазерам с резонатором [4] на основе коротких искусственных рэлеевских оптических волокон (ОВ, содержащих массив волоконных брэгговских решёток – ВБР) [5].

Нами разработано ОВ с ВБР, запись которых производится во время процесса вытяжки ОВ [5]. Формирование массива ВБР в таком ОВ выполняется с помощью импульсного излучения эксимерного УФ-лазера, проходящего через фазовую маску. Количество ВБР на 100 метрах такого ОВ может достигать 10000 штук. Увеличение обратного сигнала по сравнению с уровнем рассеяния Рэля достигает 50 дБ на $\lambda=1550$ нм. Типичная ширина спектра отражения массива ВБР составляет величину 0.3 нм. При использовании chirпированной фазовой маски ширина спектра отражения массива достигает величины 4 нм. Расширение спектра отражения до 4 нм также возможно за счёт тейперирования ОВ с массивом ВБР. Запись массива ВБР возможна как в ОВ, вытягиваемых из фоточувствительной заготовки, так и в обычном одномодовом телекоммуникационном ОВ типа SMF–28. В последнем случае контраст записи достигает величины 25 дБ на $\lambda=1550$ нм, что значительно превышает уровень рассеяния Рэля и расширяет возможности применения такого ОВ в системах когерентной рефлектометрии [6-7].

Используя ОВ с массивом ВБР длиной 100 метров, мы получили узкополосную лазерную генерацию с шириной линии генерации менее 10 кГц на длине волны 1552 нм [8]. Дополнительно в резонатор случайного лазера был

добавлен короткий отрезок (~1 м) ОВ, легированного ионами эрбия, который использовался как динамический модовый фильтр [9]. Для получения перестраиваемой лазерной генерации в полосе до 4 нм в качестве резонатора может использоваться тейперное ОВ с массивом ВБР [10].

Запись массивов ВБР также возможно производить во время вытяжки ОВ легированного ионами эрбия [11–12]. Это позволяет создать ОВ, совмещающие в себе как повышенную отражательную способность, так и возможность формирования динамических решёток, которые крайне важны для спектральной селекции лазерного излучения. На рис. 1(а) показана частотная рефлектограмма ОВ, легированного ионами эрбия. Контраст записи достигает 30 дБ на длине волны 1547.6 нм с шириной спектра отражения до 0.3 нм. Радиочастотный спектр лазерной генерации, измеренный методом автогетеродинамирования, показан на рис. 1(б). Эффективность лазерной генерации достигает величины 2.5% при мощности накачки 300 мВт на длине волны 976 нм. Длина резонатора – 5 м.

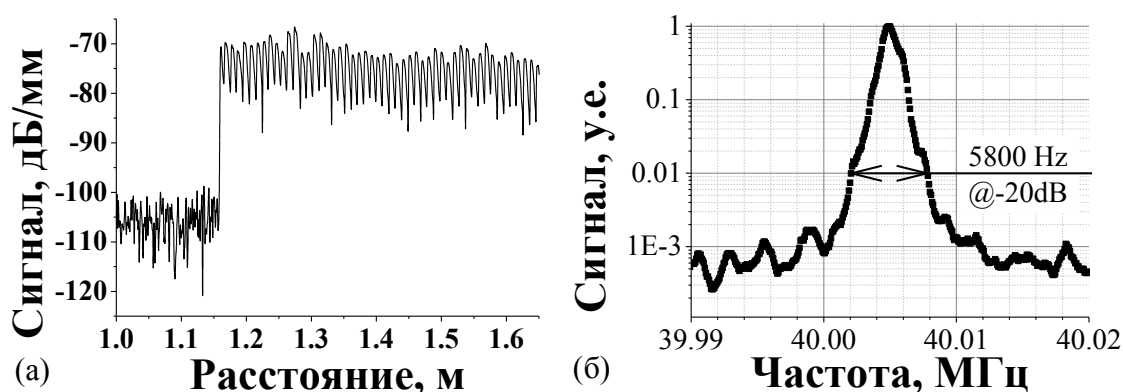


Рис. 1. Частотная рефлектограмма (а) ОВ с массивом ВБР, легированного ионами эрбия, и радиочастотный спектр лазерной генерации (б), измеренный автогетеродинамированием.

Конструкция лазера обеспечивает преобладание отражательной способности создаваемой динамической решёткой инверсной населенности над стационарными центрами отражения, что позволяет эффективно осуществлять нелинейную фильтрацию непосредственно в резонаторе ОВ [12]. При этом ширина лазерной линии сужается до частотного диапазона менее 1 кГц.

Авторы благодарят сотрудников ИРЭ РАН за изготовление заготовок (проф. К.М. Голант, В.А. Аксёнов) и вытяжки экспериментальных ОВ (И.Л. Воробьёв, В.В. Волошин, А. О. Колосовский). Работа выполнена в рамках государственного задания и при частичной поддержке гранта РФФИ и ГФЕН Китая 20-57-53013. Работа А.А.Ф. поддержана грантами РНФ 18-12-00457 и РФФИ 18-42-732001 р_мк.

Литература

- [1] A.A. Fotiadi, R.V. Kiyani, *Opt. Lett.* **23**, 1805-1807 (1998)
- [2] S. Turitsyn, S. Babin, A. El-Taher, et al., *Nature Photon* **4**, 231–235 (2010)
- [3] A. Fotiadi, *Nature Photon* **4**, 204–205 (2010)
- [4] M.I. Skvortsov, S.R. Abdullina, et al., *Quantum Electron* **47**, 696–700 (2017)
- [5] I.A. Zaitsev, O.V. Butov, et al., *Journal of Comm. Tech and Electr.* **61**, 639–645 (2016)
- [6] S.M. Popov, O.V. Butov, et al., *Quantum Electron* **49**, 1127–1131 (2019)
- [7] D.R. Kharasov, D.M. Bengalskii, et al., *Quantum Electron* **50**, 510–513 (2020)
- [8] S.M. Popov, Oleg V. Butov, et al., *Results in Physics* **9**, 806-808. (2018)
- [9] I.A. Lobach, R.V. Drobyshev, et al., *Optics Letters* **42**, 4207-4210 (2017)
- [10] S.M. Popov, O.V. Butov, et al., *Results in Physics* **9**, 625-627 (2018)
- [11] S.M. Popov, O.V. Butov, et al., *Results in Physics* **16**, 102868 (2020)
- [12] S.M. Popov, O.V. Butov, et al., *Proc. SPIE* **11357**, 113571Q (1 April 2020)