

СТАБИЛИЗАЦИЯ УЗКОПОЛОСНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО РОС-ЛАЗЕРА С САМОЗАХВАТОМ ЧАСТОТЫ В СХЕМЕ С ВНЕШНИМ РЕЗОНАТОРОМ НА ВОЛОКНЕ С СОХРАНЕНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИИ*

✉ И. С. Паняев¹, П. А. Итрин¹, Д. А. Коробко¹, А. А. Фотиади^{1,2}

¹ Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

² Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

✉ panyaev.ivan@rambler.ru

В последние несколько лет в прикладных областях современной оптоэлектроники и фотоники сохраняется высокий интерес к созданию малошумящих узкополосных источников лазерного излучения «телеком»-диапазона (например, на длине волны 1550 нм) из-за их высокой востребованности для расширения пропускной способности оптических линий дальней, городской и ближней связи [1]. Среди методов получения таких источников особое место занимает техника самозахвата частоты внешнего резонатора полупроводниковым РОС-лазером (*self-injection locking*), зарекомендовавшая себя эффективностью и очевидной простотой. Использование высокочастотного внешнего волоконного кольцевого резонатора в данной технике позволяет добиться сужения полосы лазерного излучения стандартного полупроводникового лазерного диода с распределенной обратной связью (РОС) примерно на пять порядков с ~ 10 МГц до сотни Гц [2–4].

Использование стандартных волоконных компонентов на основе волокна с сохранением поляризации (*polarization-maintaining, PM*) в конфигурации, представленной в настоящей работе (рис. 1) позволяет добиться повышения добротности внешнего волоконного резонатора и его устойчивости к внешним механическим и акустическим воздействиям. Сам волоконный резонатор в схеме разделен по длине на две половины сваркой с поворотом свариваемых концов волокна на 90° относительно друг друга (отмечено крестом на рис. 1). Таким образом, поляризация проходящего через место сварки излучения поворачивается на 90° . Отбор линейно-поляризованной компоненты излучения, циркулирующего в кольце резонатора, осуществляет волоконный поляризационный делитель.

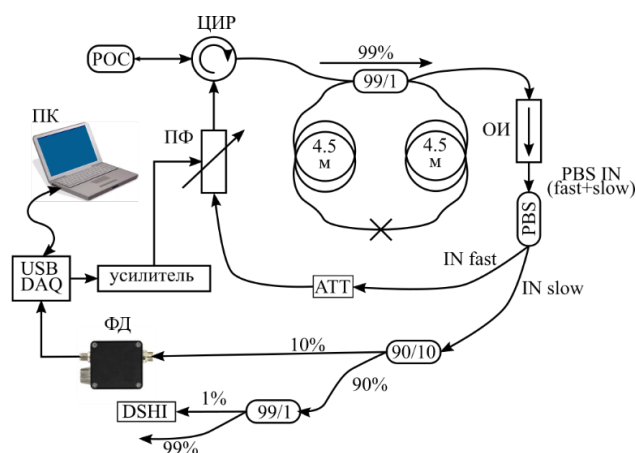


Рис. 1. Схема эксперимента:

РОС — полупроводниковый лазерный диод, ЦИР — циркулятор, ОИ — изолятор, АТТ — переменный оптический аттенюатор 0–60 дБ, ФД — фотодетектор, ПФ — перестраиваемый фазосдвигатель, USB-DAQ — плата сбора данных. Место сварки с поворотом осей двулучепреломления волокна на 90° обозначено крестом

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-79-30017) и Министерства науки и высшего образования (проекты № 075-15-2021-581, FEUF-2023-0003).

© И. С. Паняев, П. А. Итрин, Д. А. Коробко, А. А. Фотиади, 2023

В канал обратной связи входит перестраиваемый аттенюатор для регулировки мощности, волоконный фазовращатель, необходимый для стабилизации генерации узкополосного излучения в режиме самозахвата частоты, а также оптический циркулятор.

Оптический сигнал на выходе лазера, регистрируемый фотодетектором, используется как сигнал ошибки в цепи активной обратной связи. Для поддержания сигнала обратной связи на желаемом уровне цепь активной обратной связи, управляемая с помощью недорогого многофункционального USB-устройства сбора данных (на базе платы Arduino), прикладывает через усилитель соответствующее напряжение к волоконному фазовращателю. Оценка ширины линии генерации РОС-лазера в режиме самозахвата частоты проводилась с помощью аппроксимации распределением Фойгта спектра самогетеродинного интерферометра с линией задержки длиной 50 км (рис. 2). Гауссова ширина линии самогетеродинного спектра РОС-лазера в режиме самозахвата частоты и включенной активной стабилизации сузилась с ~ 2 МГц до $\sim 3,6$ кГц. Значения ширины линии лазерной генерации при этом можно определить как $\sqrt{2}/2 \cdot w_G$ и $1/2 \cdot w_L$ соответствующих компонент ширины линии распределения Фойгта [5].

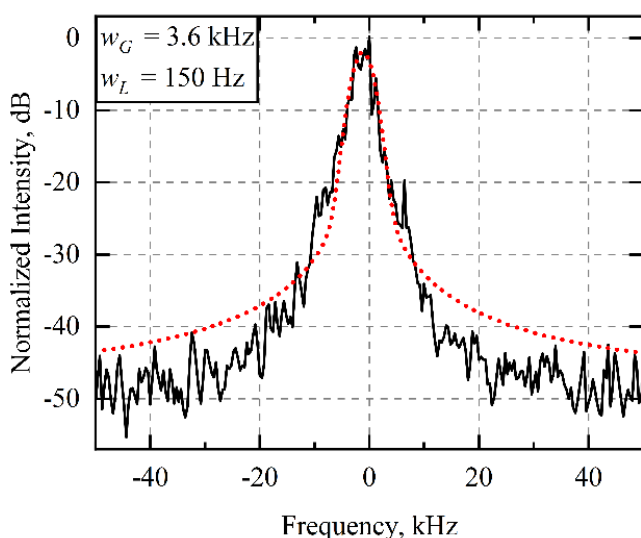


Рис. 2. Спектр генерации лазера в режиме самозахвата частоты (сплошная линия); пунктирная линия — распределение Фойгта

Таким образом, минимальное значение гауссовой ширины линии генерации лазера в режиме самозахвата частоты составило $\sim 2,5$ кГц, лоренцева ширина линии генерации лазера ~ 75 Гц.

Исследование шумовых характеристик показало достаточно низкие значения фазового шума (< 130 дБн/Гц) и относительного шума интенсивности (< 135 дБн/Гц) на частотах отстройки свыше 30 кГц.

Таким образом, исследуемая схема позволяет добиться большего, по сравнению с предыдущими результатами [2–4], сужения ширины линии РОС-лазера при сохранении высокой стабильности режима генерации и низкой себестоимости.

Список литературы

1. Stern B., Xi Ji, Dutt A., Lipson M. Compact narrow-linewidth integrated laser based on a low-loss silicon nitride ring resonator // *Opt. Lett.* 2017. Vol. 42. P. 4541–4544.
2. Spirin V.V., Bueno Escobedo J.L., Korobko D.A. et al. Stabilizing DFB laser injection-locked to an external fiber-optic ring resonator // *Opt. Express.* 2020. Vol. 28. P. 478–484.
3. Spirin V.V., Bueno Escobedo J.L., Korobko D.A. et al. Dual-frequency laser comprising a single fiber ring cavity for self-injection locking of DFB laser diode and Brillouin lasing // *Opt. Express.* 2020. Vol. 28. P. 37322–37333.
4. Spirin V.V., Bueno Escobedo J.L., Mironov S.V. et al. Sub-kilohertz Brillouin fiber laser with stabilized self-injection locked DFB pump laser // *Optics & Laser Technology.* 2021. Vol. 141. P. 107156.
5. Mercer L.B. 1/f Frequency Noise Effects on Self-Heterodyne Linewidth Measurements // *J. Lightwave Technology.* 1991. Vol. 9. P. 485–493.