

Самозахват частоты и стабилизация узкополосной генерации полупроводникового РОС-лазера в схеме с внешним резонатором на волокне с сохранением поляризации

И.С. Паняев^{1,*}, П.А. Итрин¹, Д.А. Коробко¹, А.А. Фотиади^{1,2,3}

¹Ульяновский государственный университет, Ульяновск

²University of Mons, Belgium

³Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, РАН, Санкт-Петербург

*E-mail: panyaev.ivan@rambler.ru

DOI:10.31868/RFL.2022.184-185

В настоящее время узкополосные, малошумящие и при этом недорогие источники лазерного излучения «телеком»-диапазона остро востребованы в оптоэлектронике и фотонике для многих практических приложений [1]. Одним из наиболее эффективных способов получения узкополосного лазерного источника с суб-килогерцовой шириной полосы излучения является техника самозахвата частоты внешнего резонатора полупроводниковым лазером (self-injection locking). Использование этой техники со стандартными полупроводниковыми лазерными диодами с распределённой обратной связью (РОС) и волоконными высокодобротными резонаторами позволяет добиться сужения полосы лазерного излучения, примерно, на пять порядков с ~ 10 МГц до сотни Гц [2-4].

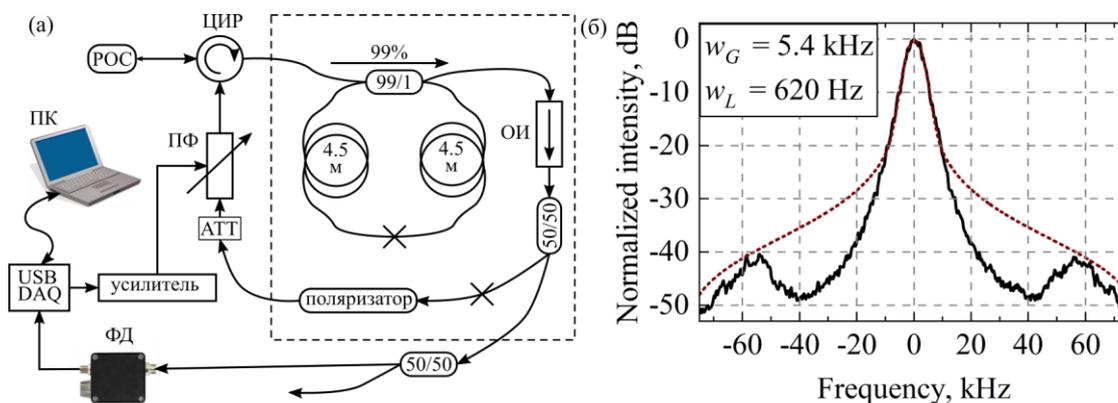


Рис. 1. (а) Схема эксперимента: РОС – полупроводниковый лазерный диод, ЦИР – циркулятор, ОИ – изолятор, АТТ – переменный оптический аттенуатор 0 – 60 дБ, ФД – фотодетектор, ПФ – перестраиваемый фазосдвигатель, USB-DAQ – плата сбора данных. Элементы, помещённые в термо-вибро-изоляционный бокс ограничены штриховой линией. Места сварки с поворотом на 90° обозначены крестом. (б) Спектр генерации лазера в режиме самозахвата частоты (сплошная линия); пунктирная линия – распределение Фойгта.

Главная особенность схемы самозахвата частоты, использованной в настоящей работе, заключается в том, что она собрана из стандартных волоконных компонентов на основе волокна с сохранением поляризации (polarization-maintaining, PM). Использование PM волокон, с одной стороны, даёт возможность уменьшить число ответвителей в схеме резонатора с двух до одного, а значит повысить его добротность. С другой стороны, значительно повышает устойчивость работы лазера к внешним воздействиям относительно обычных лазерных конфигураций на волокнах без сохранения поляризации.

Для реализации и стабилизации режима захвата частоты была сварена схема, представленная на Рис. 1 (а). Единая сварная конфигурация волоконного резонатора имеет особенности в двух точках схемы. В этих точках волокна свариваются так, что быстрая поляризационная ось одного волокна сопрягается с медленной осью другого волокна. Иными словами, в этих точках поляризация поворачивается на 90° . Первая точка расположена в кольце резонатора, вторая – в канале обратной связи, обеспечивающем инъекцию излучения селективируемого внешним резонатором обратно в резонатор полупроводникового лазера.

В канал обратной связи включен перестраиваемый волоконный фазосдвигатель, работающий на основе термо-оптического эффекта. В составе активной обратной связи он используется для стабилизации узкополосной генерации. Наиболее чувствительные части схемы (кольцо резонатора, выходной ответвитель и часть канала обратной связи) помещены в термо-вибро-изоляционный бокс с подложкой на нагревательном элементе, поддерживающем температуру внутри бокса постоянной (см. Рис. 1 (а)).

Ширина линии генерации РОС-лазера в режиме самозахвата частоты измерялась при помощи самогетеродинного интерферометра с линией задержки длиной 50 км. При захвате лазером частоты внешнего резонатора мы наблюдали сужение ширины самогетеродинного спектра с ~ 1 МГц до $\sim 5,4$ кГц, что близко к предельной разрешающей способности самогетеродинного интерферометра с заданной задержкой. Для извлечения ширины линии лазерной генерации, регистрируемый самогетеродинный спектр (сплошная линия на Рис. 1 (б)) аппроксимировался распределением Фойгта (пунктирная линия на Рис. 1 (б)), которое представляет собой свёртку функций распределения Гаусса и Лоренца с разными весовыми коэффициентами. При оценке ширины лазерной линии эти коэффициенты определяют вклад $1/f$ - или фликер-шума и вклад белого шума, соответственно. При этом полная ширина лоренцевой линии генерации лазера в два раза, а гауссовой в $\sqrt{2}/2$ раза уже ширины соответствующих компонент измеряемого самогетеродинного спектра [5]. Таким образом, минимальное значение лоренцевой ширины линии генерации лазера в режиме самозахвата частоты составило ~ 310 Гц. Соответствующее значение гауссовой ширины линии генерации лазера ~ 3.8 кГц. В работе также показана возможность управления шириной линии самогетеродинного спектра лазера в диапазоне от 5 до 30 кГц путем установки разного уровня сигнала в канале обратной связи, поддерживаемого фазосдвигателем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-12-00457Р) и Министерства науки и высшего образования (проект № 075-15-2021-581).

Литература

- [1] B. Stern, X. Ji et al, *Opt. Lett.* **42**, 4541–4544 (2017).
- [2] V.V. Spirin et al, *Opt. Express* **28**, 478-484 (2020).
- [3] V.V. Spirin et al, *Opt. Express* **28**, 37322-37333 (2020).
- [4] V.V. Spirin et al, *Optics & Laser Technology* **141**, 107156 (2021).
- [5] L.B. Mercer, *J. Lightwave Technology* **9**, 485-493 (1991).