

Суб-100-Гц волоконный лазер на эффекте самозахвата частоты

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

¹ Ульяновский государственный университет, Ульяновск

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

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

DOI:10.31868/RFL.2024.145-146

В прикладных областях современной фотоники и оптоэлектроники сохраняется рост требований к параметрам лазерных источников, в частности, остро востребованы малошумящие, узкополосные и при этом недорогие источники лазерного излучения «телеком»-диапазона [1]. Использование высокодобротного внешнего волоконного кольцевого резонатора в технике самозахвата частоты (self-injection locking) позволяет добиться сужения полосы лазерного излучения стандартного полупроводникового лазерного диода с распределённой обратной связью (РОС), примерно, на пять порядков: с единиц МГц до десятков Гц [2-5]. Однако, при этом возникает необходимость повышения качества стабилизации узкополосной генерации полупроводникового РОС-лазера, т.е. устойчивости режима самозахвата частоты.

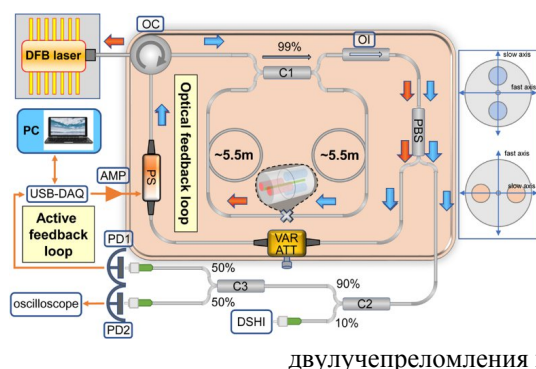


Рис. 1. Схема эксперимента: DFB – полупроводниковый лазерный диод с распределенной обратной связью, ОС – циркулятор, OI – оптоволоконный изолятор, PBS – поляризационный светоделитель, VAR ATT – переменный оптический attenuator 0 – 60 дБ, PD – фотодетектор, PS – перестраиваемый фазосдвигатель, USB-DAQ – плата сбора данных, AMP – усилитель электрической мощности, DSHI – самогетеродинный интерферометр. Место сварки с поворотом осей

двулучепреломления на 90° обозначено крестом.

Основная особенность конфигурации, использованной в настоящей работе (Рис. 1), заключается в использовании стандартных волоконных компонентов на основе волокна с сохранением поляризации (polarization-maintaining, PM). Использование PM волокна и компонентов на его основе в данной конфигурации позволяет сократить число разветвителей в кольцевом резонаторе с двух до одного (за счёт возможности разделения излучения по поляризации), а также значительно повысить устойчивость работы лазера к внешним воздействиям.

Волоконный фазовращатель на термооптическом эффекте в контуре волоконной обратной связи управляется недорогим многофункциональным USB-устройством сбора данных (на базе платы Arduino), подключенным к ПК. Фотодетектор регистрирует оптический сигнал на выходе лазера, который используется как сигнал ошибки в цепи активной обратной связи. Для поддержания сигнала обратной связи на желаемом уровне цепь активной обратной связи прикладывает через усилитель соответствующее напряжение к волоконному фазовращателю. Дополнительный термоконтроль (тоже на базе платы Arduino) может применяться также к термоизолированному боксу, в который помещены основные компоненты схемы, в целом для контроля

напряжения, подаваемого на термоэлемент с целью удержания фазовращателя в пределах его рабочего диапазона.

На стабильность узкополосной генерации лазерного диода в режиме самозахвата частоты влияет целый ряд факторов таких как акустические вибрации, колебания температуры (как окружающей среды, так и самого диода), качество используемого лазерного диода, стабильность тока питания диода и управляющего напряжения фазосдвигающего. Особое внимание нами было уделено алгоритму управления рабочим напряжением фазосдвигающего. В частности, была проведена оптимизация коэффициентов PID-регулятора, отвечающего за управление рабочим напряжением фазосдвигающего, а также исследовано влияние выбора рабочего склона резонансного провала характеристики пропускания кольцевого резонатора на стабильность узкополосной генерации в режиме самозахвата частоты.

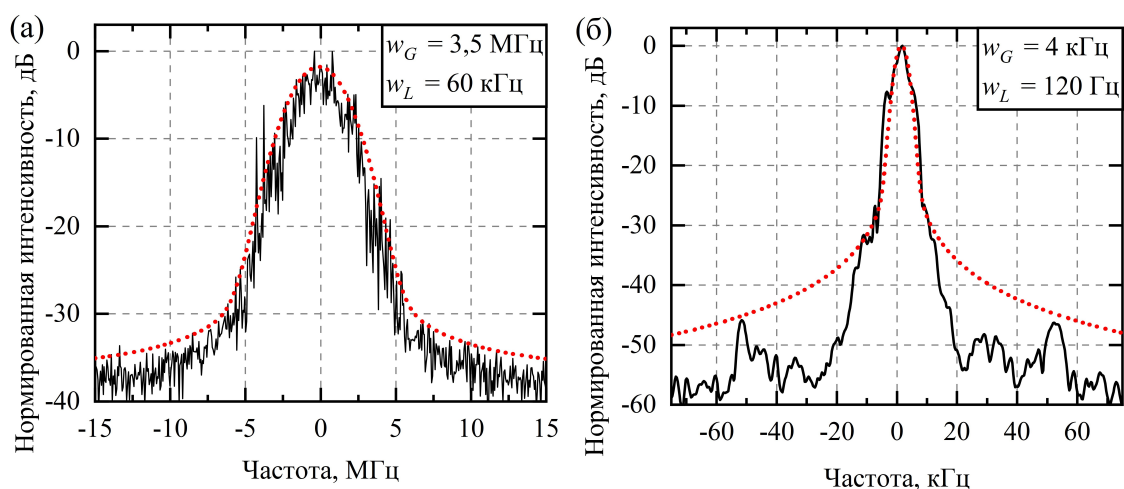


Рис. 2. Самогетеродинный спектр излучения лазера в свободном режиме (а) и в стабилизированном режиме самозахвата частоты (б). Сплошные линии – измеренные спектры, пунктирные линии – аппроксимация профилем Фойгта

На Рис. 2 представлены спектры РОС-лазера, измеренные в различных режимах работы лазера с помощью самогетеродинного интерферометра с линией задержки длиной 50 км. Аппроксимация данных спектров распределением Фойгта позволяет оценить значения гауссовой и лоренцевой ширины линии лазерной генерации, как $\sqrt{2}/2 \cdot w_G$ и $1/2 \cdot w_L$ соответствующих компонент измеряемого самогетеродинного спектра [6]. Таким образом, применение новых алгоритмов управления рабочим напряжением фазосдвигающего в канале обратной связи приводит к повышению эффективности техники самозахвата частоты и сужению гауссовой ширины линии генерации лазера с $\sim 2,5 \text{ МГц}$ до $2,8 \text{ кГц}$ и лоренцевой ширины линии генерации лазера с 30 кГц до 60 Гц .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-79-30017).

Литература

- [1] B. Stern, X. Ji et al, *Opt. Lett.* **42**, 4541–4544 (2017).
- [2] V.V. Spirin, *Opt. Express* **28**, 478-484 (2020).
- [3] V.V. Spirin, *Optics & Laser Technology* **141**, 107156 (2021).
- [4] I.S. Panyayev, *J. Lightwave Technology* **42**, 2928-2937 (2024).
- [5] И.С. Паняев, *Квантовая электроника* **53**, 778-783 (2023).
- [6] L.B. Mercer, *J. Lightwave Technology* **9**, 485-493 (1991).