

УДК 621.373.826

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДИОДНЫЙ МОДУЛЬ С КИЛОГЕРЦОВОЙ МГНОВЕННОЙ ШИРИНОЙ ЛИНИИ

Шестак В. В., Микитчук К. Б., Чиж А. Л.

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В данной работе представлен высококогерентный лазерный диодный модуль в малогабаритном металлическом корпусе и с низким электропотреблением. Мгновенная ширина линии генерации лазерного диодного модуля уменьшена до единиц килогерц за счет оптической самосинхронизации лазерным излучением в перекрестной поляризации. Характеристики модуля позволяют использовать его для широкого спектра применений от лидаров до волоконно-оптических сенсорных систем.

**Ключевые слова:** лазерный диодный модуль, ширина линии лазера, оптическая самосинхронизация, радиофотоника.

### FIBER-OPTIC LASER DIODE MODULE WITH KILOHERTZ INSTANTANEOUS LINEWIDTH

Vladislav Shestak, Kiryl Mikitchuk, Alexander Chizh

SSPA «Optics, Optoelectronics and Laser Technology»  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** In this paper a high coherence laser diode module in a small-size metal package and with low power consumption is presented. The instantaneous laser linewidth of the module is decreased to kilohertz range due to self-injection locking by laser radiation in cross-polarization. The characteristics of the laser diode module allow it to be used for a wide range of applications from lidars to fiber-optic sensor systems.

**Keywords:** laser diode module, laser linewidth, optical self-injection locking, microwave photonics.

Адрес для переписки: Чиж А. Л., пр. Независимости, 68–1, г. Минск 220072, Республика Беларусь  
e-mail: chizh@oelt.basnet.by

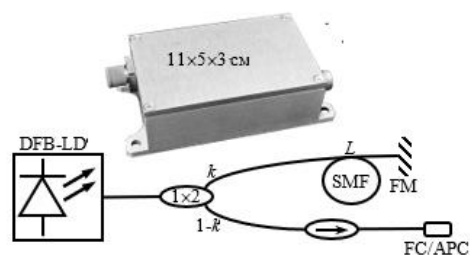
**Введение.** Развитие волоконно-оптических систем связи, лидарных систем, волоконно-оптических датчиков, а также спектроскопии высокого разрешения привело к необходимости создания малогабаритных лазерных источников с узкой линией генерации и низким уровнем шума [0, 0]. Ширина спектральной линии генерации лазерного источника является ключевым параметром при построении различных оптических систем, так как она влияет на уровень собственного шума, пространственное разрешение и чувствительность.

Для лазерных диодов с распределенной обратной связью, используемых в системах радиофотоники, типично ширина линии генерации превышает 100 кГц из-за малой длины оптического резонатора, поэтому уменьшение ширины линии генерации лазерных диодов является весьма актуальной задачей. Одним из методов по уменьшению ширины линии лазерного диода является оптическая самосинхронизация, которая достигается с помощью отражения малой доли излучения обратно в резонатор лазерного диода с задержкой на время, существенно большее, чем время жизни фотонов в лазерном резонаторе [0].

В данной работе представлен лазерный диодный модуль, мгновенная ширина линии генерации которого уменьшена до единиц килогерц за счет оптической самосинхронизации лазерным излучением в перекрестной поляризации.

**Описание модуля.** На рисунке 1 приведена фотография и блок-схема лазерного диодного мо-

дуля, в котором обеспечивается режим оптической самосинхронизации лазерного диода. В модуле небольшая доля  $k$  от 0,1 до 10 % излучения от термостабилизированного лазерного диода с распределенной обратной связью направляется с помощью волоконно-оптического разветвителя в отрезок одномодового оптического волокна длиной  $L$  с зеркалом Фарадея на конце, которое обеспечивает отражение исходного лазерного излучения в перекрестной поляризации.



1×2 – оптический разветвитель; SMF – отрезок оптического волокна; FM – зеркало Фарадея; FC/APC – выходной оптический разъем

Рисунок 1 – Фотография и блок-схема лазерного модуля, в котором используется режим оптической самосинхронизации лазерного диода с распределенной обратной связью (DFB-LD)

Главными параметрами, определяющими ширину линии лазерного диода в режиме оптической самосинхронизации, являются длительность задержки в петле оптической обратной связи

( $\tau = 2n_f L / c$ , где  $n_f$  – эффективный показатель преломления сердцевинки оптического волокна,  $c$  – скорость света) и коэффициент самоинжекции, который определяется отношением мощности лазерного излучения, инжектируемого в лазерный резонатор, к выходной мощности генерации лазерного диода ( $\eta = \rho k^2$ , где  $\rho$  – коэффициент отражения от зеркала Фарадея) [0, 0]. Для работы модуля необходимо двухполярное напряжение питания  $\pm 6$  В, при этом для обеспечения широкого рабочего температурного диапазона от  $-50$  до  $+50^\circ\text{C}$  максимальный ток потребления составляет 500 мА. Лазерный диодный модуль имеет выходной оптический разъем FC/APC и генерирует излучение на длине волны около 1550 нм с мощностью порядка 10 мВт.

**Характеристики модуля.** На рисунке 2 приведены контуры линий генерации лазерного диода в режиме оптической самосинхронизации для разных коэффициентов самоинжекции при длительности задержки 40 нс. Измерение ширины линии генерации лазерного диодного модуля проводилось с помощью метода гомодинирования на основе интерферометра Майкельсона. Увеличение коэффициента самоинжекции с  $-50$  до  $-26$  дБ приводит к уменьшению мгновенной ширины (лоренцевской составляющей) линии генерации лазерного диодного модуля до величины менее 10 кГц. Для дальнейшего сужения линии генерации необходимо увеличивать длительность задержки в петле оптической обратной связи.

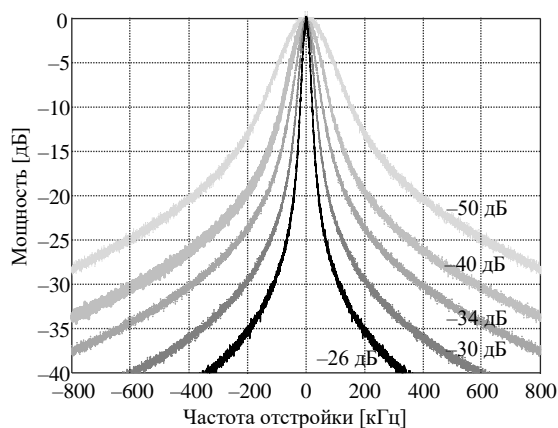


Рисунок 2 – Контурные линии генерации лазерного диода в режиме оптической самосинхронизации для разных коэффициентов самоинжекции от  $-50$  до  $-26$  дБ

При увеличении задержки до 80 нс мгновенная ширина линии лазерного диодного модуля уменьшилась до 5 кГц. На рисунке 3 приведена стабильность ширины лоренцевской составляющей линии генерации лазерного диода в режиме оптической самосинхронизации при коэффициенте самоинжекции  $-26$  дБ и длительности задержки в петле оптической обратной связи 80 нс. Для исследования временной стабильности

временной ширины линии генерации через равные промежутки времени на протяжении более 10 часов проводилось свыше 10 000 измерений. Следует отметить, что при увеличении длительности задержки в петле оптической обратной связи гистограмма распределения ширины линии генерации становится несимметричной, но разброс значений ширины линии генерации уменьшается.

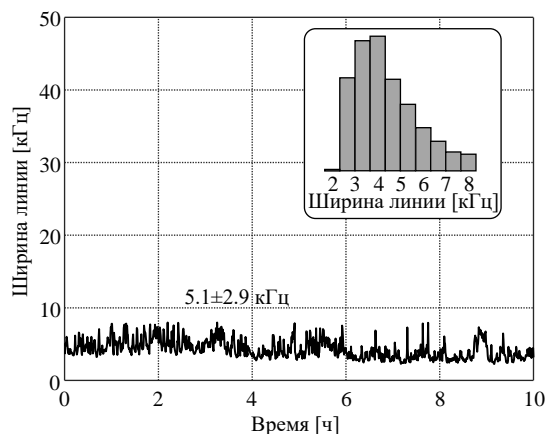


Рисунок 3 – Стабильность мгновенной ширины линии генерации лазерного диодного модуля для коэффициента самоинжекции  $-26$  дБ и длительности задержки в петле обратной связи 80 нс. На вставке – гистограмма распределения величины ширины линии генерации

**Заключение.** В данной работе представлен высококогерентный лазерный диодный модуль в малогабаритном металлическом корпусе с размерами  $11 \times 5 \times 3$  см и с низким электропотреблением менее 3 Вт, который обладает мгновенной шириной (лоренцевской составляющей) линии менее 10 кГц за счет использования режима оптической самосинхронизации лазерным излучением в перекрестной поляризации. Характеристики лазерного диодного модуля позволяют использовать его для широкого спектра применений от лидаров до волоконно-оптических сенсорных систем.

#### Литература

1. High-power sub-kHz linewidth lasers fully integrated on silicon / H. Duanni [et al.] // J. Optica. – 2019. – V. 6, № 6. – P. 745–752.
2. High-power, ultra-low noise hybrid lasers for microwave photonics and optical sensing / P. Morton [et al.] // J. Lightwave Technology. – 2018. – V. 36, № 21. – P. 5048–5057.
3. High-power, low RIN 1.55- $\mu\text{m}$  directly modulated DFB lasers for analog signal transmission / M. Faugeron [et al.] // IEEE Photonics Technology Lett. – 2012. – V. 24, № 2. – P. 116–118.
4. Prasad, S. High-speed electronics and optoelectronics: devices and circuits / S. Prasad, H. Schumacher, A. Gopinath. – Cambridge University Press, 2009.
5. Coldren, L. Diode lasers and photonic integrated circuits / L. Coldren, S. Corzine, M. Mashanovitch. – John Wiley & Sons, 2012.