

Моделирование динамики генерации в полупроводниковом лазере в режиме самосинхронизации

А. А. Афоненко¹⁾, В. В. Шестак²⁾, К. Б. Микитчук²⁾, А. Л. Чиж²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: afonenko@bsu.by

²⁾ ГНПО "Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника", Минск, Беларусь,
e-mail: chizh@oelt.basnet.by

На основе балансных уравнений проведен анализ динамических режимов генерации в одномодовом полупроводниковом лазере при внешней оптической обратной связи, реализованной на основе оптического волокна. Показано, что при времени запаздывания, превышающем время когерентности, реализуется режим оптической самосинхронизации, при котором наблюдается устойчивое сужение ширины линии генерации.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер; ширина линии генерации лазера; оптическая обратная связь; оптическая самосинхронизация.

Modeling of generation dynamics in a semiconductor laser in self-locking mode

A. A. Afonenko¹⁾, V. V. Shestak²⁾, K. B. Mikitchuk²⁾, A. L. Chizh²⁾

¹⁾ Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: afonenko@bsu.by

²⁾ SSPA "Optics, Optoelectronics, and Laser Technology", Minsk, Belarus, e-mail: chizh@oelt.basnet.by

The dynamic regimes of generation in a single-mode semiconductor laser under external optical feedback are analyzed on the basis of balance equations. It is shown that at the delay time exceeding the coherence time, the optical self-locking mode is achieved, in which a narrowing of the laser linewidth is observed.

Keywords: semiconductor laser; laser linewidth; optical feedback; optical self-locking mode

Введение

Использование внешнего резонатора позволяет уменьшить ширину линии генерации полупроводникового лазера, при этом для подавления мод собственного резонатора используется антиотражающее покрытие выходной грани кристалла [1]. С практической точки зрения интерес представляют схемы, в которых используются коммерчески-доступные лазерные диоды без последующей модификации их конструкции. Целью настоящей работы является анализ возможности уменьшения ширины линии генерации одномодового лазера с помощью волоконно-оптического внешнего резонатора. На рис. 1 представлена схема лазерного диодного модуля в режиме оптической самосинхронизации, который реализован с помощью оптической обратной связи на основе волоконно-оптического разветвителя 1×2 и отрезка одномодового оптического волокна с зеркалом Фарадея.

Одномодовый режим генерации обеспечивается распределенной обратной связью в собственном резонаторе лазера. Наличие зеркала Фарадея на внешнем конце волокна подавляет флуктуации поляризации излучения, вернувшегося в лазерный резонатор после прохождения через волокно в обе стороны [2]. Тем самым стабилизируется коэффициент связи внешнего излучения с модой внутри резонатора. Если длина волокна обеспечивает задержку лазерного излучения, значительно превышающую время когерентности, то во внешнем резонаторе не возникает стоячая волна. Поэтому физика процесса соответствует синхронизации лазера внешним излучением, в качестве которого выступает запаздывающее собственное излучение, то есть реализуется режим самосинхронизации.

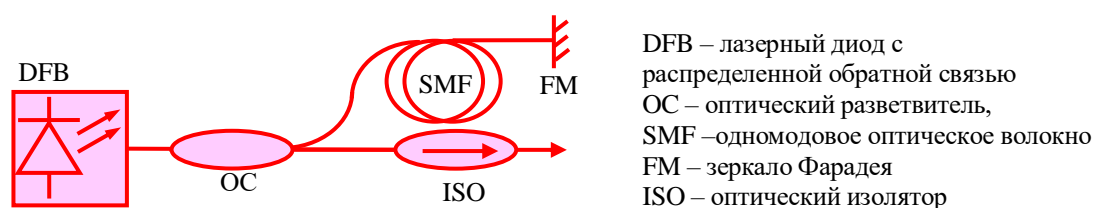


Рис. 1. Схема лазерного диодного модуля в режиме оптической самосинхронизации

1. Модель лазера с внешним резонатором

Основными параметрами, определяющими динамические состояния в рассматриваемом лазерном диодном модуле, в том числе и режим самосинхронизации, являются длительность задержки в петле оптической обратной связи, которая регулируется длиной отрезка одномодового оптического волокна, а также коэффициент самоинжекции, который определяется отношением мощности лазерного излучения, инжектируемого в лазерный резонатор, к выходной мощности лазерного диода и регулируется коэффициентом ответвления волоконно-оптического разветвителя. Численный анализ основывался на скоростных уравнениях для комплексной амплитуды поля и концентрации электронов в активной области полупроводникового лазера [3]. Флуктуации амплитуды и фазы излучения, связанные со спонтанными переходами, учитывались соответствующими скачками этих величин на каждом шаге интегрирования. Внешняя оптическая обратная связь включалась в уравнение для амплитуды в виде слагаемого, пропорционального амплитуде излучения, вернувшегося в резонатор после отражения в зеркале Фарадея.

Расчеты динамики выполнялись для лазера с шириной линии в режиме свободной генерации 11 МГц. Время когерентности, обратно пропорциональное величине ширины линии генерации, составило 91 нс. Длительности моделируемых временных зависимостей амплитуды поля в резонаторе составляли 10 000 нс. Спектры излучения получались из временных зависимостей амплитуды поля длительностью 8000 нс с помощью дискретного Фурье преобразования. Начальный участок динамических зависимостей длительностью 2000 нс считался переходным и исключался из анализа. Вычисления проводились для различных набегов фазы оптического излучения во внешнем резонаторе, величина которых на практике является неконтролируемой величиной.

2. Результаты численного моделирования

Ширина линии генерации в зависимости от времени запаздывания в оптическом волокне приведена на рис. 2. При увеличении времени задержки до 120 нс ширина линии генерации увеличивается до 30 МГц. Этот участок соответствует режиму когерентной оптической обратной связи, для которого стационарное решение базовой системы уравнений является динамически неустойчивым [3]. При дальнейшем увеличении времени задержки когерентность оптической обратной связи ослабевает, происходит переход в режим самосинхронизации. В этом режиме с увеличением времени задержки во внешнем резонаторе более 120 нс ширина линии генерации монотонно уменьшается. Ее средняя величина при времени задержки во внешнем резонаторе 1000 нс и любом из возможных набегов фазы составляет менее 1 МГц.

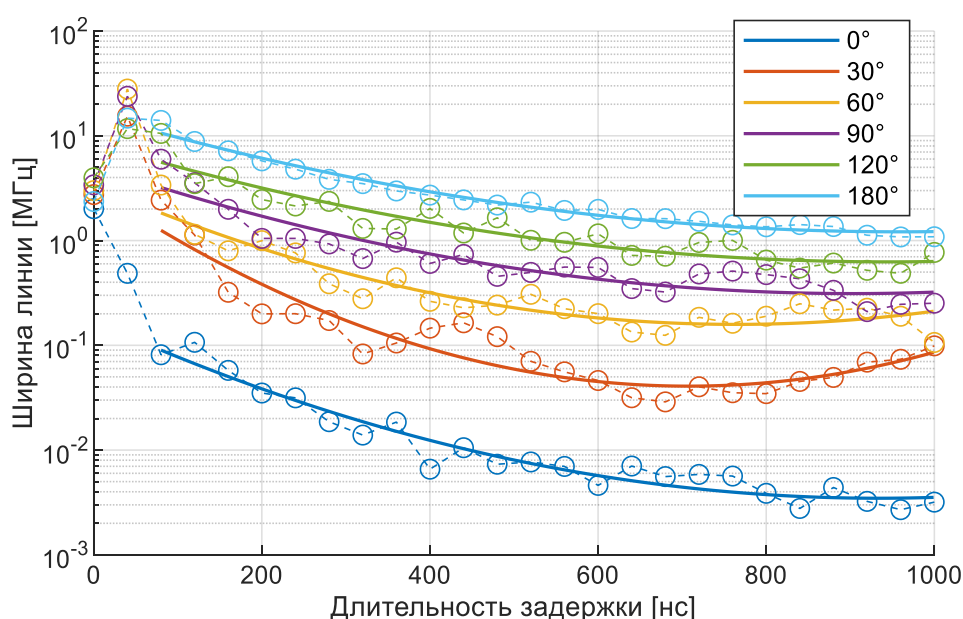


Рис. 2. Ширина линии генерации в зависимости от времени задержки в оптическом волокне при коэффициенте самоинжекции -40 дБ и различных набеге фазы во внешнем резонаторе

Ширина линии генерации в зависимости от набеге фазы во внешнем резонаторе представлена на рис. 3. Наибольшая ширина линии реализуется при набеге фазы во внешнем резонаторе, равном 180° , наименьшая – при набеге фаз 0° . Увеличение коэффициента самоинжекции свыше -50 дБ существенно не влияет на ширину линии генерации.

Заключение

Проведено численное моделирование динамики генерации в одномодовом полупроводниковом лазере в режиме самосинхронизации и проанализированы параметры оптической обратной связи для уменьшения ширины линии генерации. Показано, что для полупроводникового лазера в режиме оптической самосинхрони-

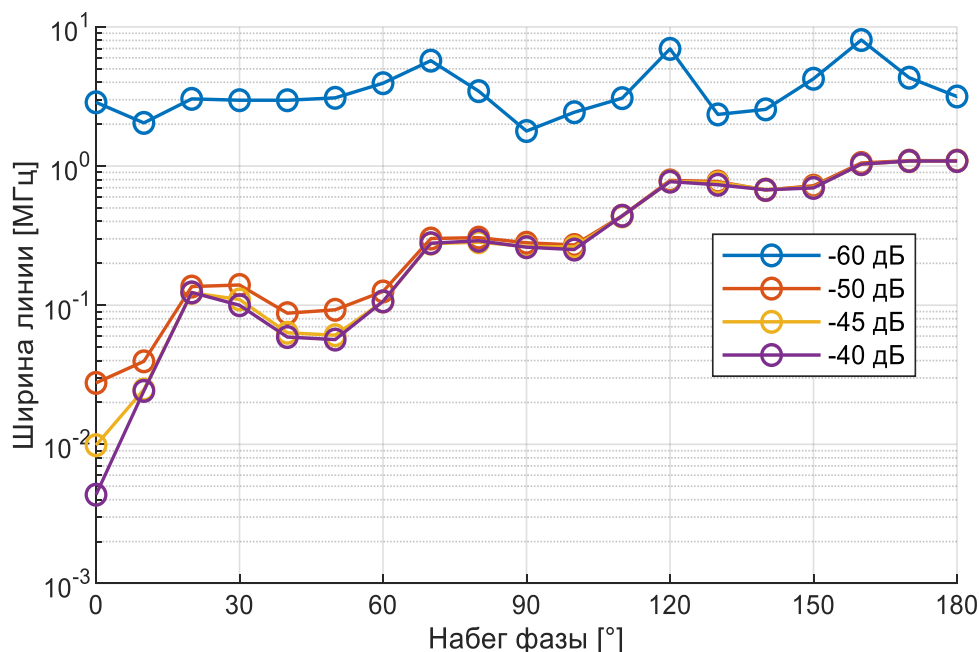


Рис. 3. Ширина линии генерации в зависимости от набега фазы во внешнем резонаторе при времени задержки в оптическом волокне 1000 нс и различных коэффициентах самоинжекции

зации с увеличением времени задержки в петле оптической обратной связи, превышающем время когерентности, ширина линии генерации монотонно уменьшается. Так, для лазера с шириной линии в режиме свободной генерации 11 МГц при времени задержки 1 мкс в петле оптической обратной связи ширина линии генерации не превышает 1 МГц вне зависимости от набега фаз во внешнем резонаторе, то есть достигается устойчивое сужение линии генерации более чем на порядок.

Библиографические ссылки

1. An experimental study on stable single-frequency semiconductor laser with external cavity / R. Hui [et al.] // IEEE Photon. Technol. Lett. 1989. Vol. 1, No 9. С. 255–257.
2. Pistoni N. C., Martinelli M. Polarization noise suppression in retracing optical fiber circuits // Optics Letters. 1991. Vol. 16, No 10. С. 711–713.
3. Афоненко А. А., Манак И. С. Кинетическая теория полупроводниковых инжекционных лазеров. Мн.: Белгосуниверситет, 1998. 69 с.