

УДК 535.92

## ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОРТОГОНАЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ОБРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЙ НА МОЩНОСТЬ И СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДИОДОВ

А.Б. Мухтубаев<sup>а</sup>, С.М. Аксарин<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: mukhtubaev.ab@gmail.com

### Информация о статье

Поступила в редакцию 30.06.14, принята к печати 08.12.14

doi: 10.17586/2226-1494-2015-15-1-65-69

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Мухтубаев А.Б., Аксарин С.М. Влияние величины ортогонально поляризованных обратных отражений на мощность и спектр излучения суперлюминесцентных диодов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 1. С. 65–69

**Аннотация.** Исследовано влияние величины ортогонально поляризованных обратных отражений на спектр источника оптического излучения типа суперлюминесцентный диод, а также представлены оптимальные режимы работы источника излучения. Особенностью метода исследования является использование волоконного контроллера поляризации и оптического зеркала, нанесенного на торец оптического волокна. Исследования проводились с двумя источниками оптического излучения: суперлюминесцентный диод фирмы ThorLabs серии S5FC1005SXL и светодиодный модуль ELED-1550-1-E-9-SM1-FA-CW. Выявлено, что при величине обратных отражений, равной –13 дБ по отношению к выходной мощности источника, начинает проявляться негативное влияние на мощностные и спектральные характеристики источника с оптической мощностью 2,3 мВт. Также подтверждено, что при увеличении мощности излучения за счет увеличения тока накачки источника влияние обратных отражений начинает проявляться при более низком уровне обратных отражений. Полученные результаты необходимо учитывать при проектировании волоконно-оптических датчиков для устранения влияния обратных отражений на источники оптического излучения, исследованных в данной работе.

**Ключевые слова:** обратные отражения, суперлюминесцентный диод, спектр, поляризация.

## INFLUENCE OF THE ORTHOGONALLY POLARIZED BACK REFLECTIONS ON THE POWER AND RADIATION SPECTRUM OF SUPERLUMINESCENT DIODES

A.B. Mukhtubayev<sup>а</sup>, S.M. Aksarin<sup>а</sup>

<sup>а</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: mukhtubaev.ab@gmail.com

### Article info

Received 30.06.14, accepted 08.12.14

doi: 10.17586/2226-1494-2015-15-1-65-69

Article in Russian

**Reference for citation:** Mukhtubayev A.B., Aksarin S.M. Influence of the orthogonally polarized back reflections on the power and radiation spectrum of superluminescent diodes. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 65–69 (in Russian)

**Abstract.** We have investigated the back reflections influence on the spectrum for optical radiation source of superluminescent diode type and have provided optimal operating conditions of the radiation source. The feature of the research method is the usage of a fiber polarization controller and an optical mirror coated on the end of an optical fiber. The studies were conducted with two sources of optical radiation: ThorLabs superluminescent diode series S5FC1005SXL and LED module ELED-1550-1-E-9-SM1-FA-CW. It was revealed that at the value of back reflections equal to -13 dB relative to the output power source, a negative impact on power and spectral characteristics of the source with an optical power of 2.3  $\mu$ W is beginning to appear. It was also confirmed that at the increase of the radiation power by increasing the source pumping current, back reflection influence is exhibiting at a lower level of back reflections. The results obtained need to be considered when designing fiber optic sensors in order to eliminate the effect of back reflections on the sources of optical radiation having been studied in this paper.

**Keywords:** back reflections, superluminescent diode, spectrum, polarization.

## Введение

Источники оптического излучения, в зависимости от их принципа работы и конструкции, в разной степени чувствительны к обратным отражениям [1–14]. Обратные отражения имеют место в схемах, где используется оптическое зеркало, также они могут возникать в местах стыков элементов. В зависимости от величины обратных отражений может наблюдаться ухудшение параметров источника оптического излучения: падение уровня оптической мощности, изменение формы спектра, что приводит к быстрой деградации источника и его выходу из строя [6]. Влияние уровня обратных отражений, введенных в ось к исходящему излучению, на источники оптического излучения было исследовано в работах [1–3]. В настоящей работе проведено исследование влияния обратных отражений, введенных с ортогональной поляризацией по отношению к исходящему излучению, на источники оптического излучения типа суперлюминесцентный диод (СЛД), определение порога чувствительности к величине обратным отражениям и выявление оптимальных режимов работы источника.

Целью работы является исследование влияния обратных отражений, введенных с ортогональной поляризацией, на спектр оптического излучения суперлюминесцентного диода двух типов: СЛД фирмы ThorLabs серии S5FC1005SXL и светодиодный модуль ELED-1550-1-E-9-SM1-FA-CW, а также определение порога чувствительности к величине обратных отражений.

### Экспериментальная установка по исследованию влияния обратных отражений на источник излучения

Экспериментальная установка по исследованию влияния обратных отражений на источники оптического излучения СЛД фирмы ThorLabs серии S5FC1005SXL и светодиодный модуль ELED-1550-1-E-9-SM1-FA-CW представлена на рис. 1. Оптическое излучение СЛД имеет высокий коэффициент экстинкции, и на его излучение влияет не только уровень обратных отражений, но и его состояние поляризации. Для этого состояние поляризации подстраивается волоконным контроллером поляризации [15] таким образом, чтобы уровень обратных отражений был максимальным [16]. Таким образом, можно говорить об ортогональности между обратным излучением и исходным, поскольку в случае параллельного состояния поляризации обратных отражений мощность излучения снижается [1–3]. Для создания обратных отражений на торец оптического волокна (ОВ) было нанесено металлическое зеркало. Уровень обратных отражений контролировался изменением количества витков ОВ с зеркалом: при уменьшении числа витков мощность обратных отражений увеличивается. Диаметр витков составлял 19 мм, количество витков – 14.

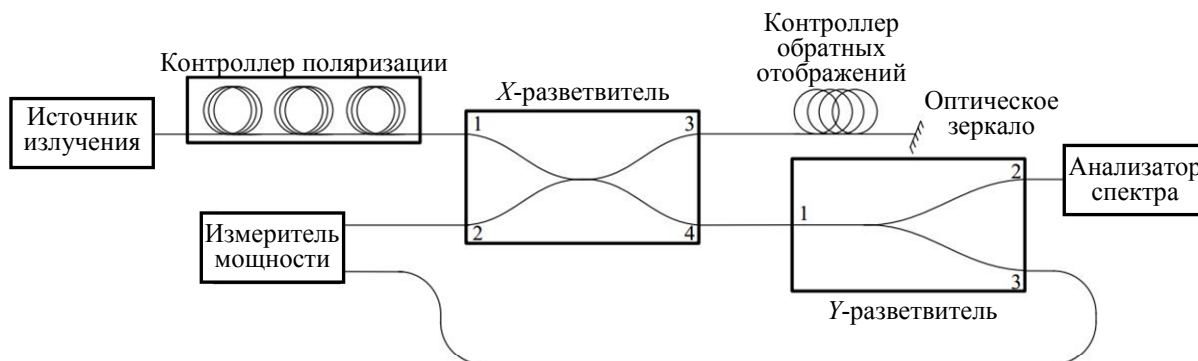


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по исследованию влияния обратных отражений на источник излучения

В ходе экспериментов использовался двухканальный измеритель мощности ThorLabs PM320E, первый канал которого был соединен с третьим выходом волоконного Y-разветвителя для контроля уровня мощности источника. Ко второму каналу был подключен второй выход волоконного X-разветвителя для измерения величины обратных отражений. Для контроля влияния обратных отражений на спектр источника использовался анализатор спектра IMAQ6370C-01EN\_030 фирмы Yokogawa. Все соединения элементов установки были выполнены разъемами типа FC/APC, чтобы исключить обратные отражения, возникающие в местах стыковки элементов экспериментальной установки.

### Исследование обратных отражений, введенных с ортогональной поляризацией

В результате исследования светодиодного модуля ELED-1550-1-E-9-SM1-FA-CW были получены спектральные характеристики, представленные на рис. 2. Исходная мощность излучения источника составила 2,3 мВт.

СЛД фирмы ThorLabs S5FC1005SXL исследовался в четырех режимах при различных токах накачки источника. Исследуемый СЛД имеет нелинейную ватт-амперную характеристику, которая представлена на рис. 3. Для анализа влияния обратных отражений необходимо учитывать также и коэффициент экс-

тинкции. Для этого было проведено измерение коэффициента экстинкции от тока накачки лазера, которая представлена на рис. 4. Результаты исследований влияния обратных отражений представлены на рис. 5 для токов накачки 187,7 мА и 237,5 мА; на рис. 6 для токов накачки 378 мА и 600 мА. При данных значениях токов накачки СЛД мощность излучения источника составила: 1,2 мВт (рис. 5, а); 2,3 мВт (рис. 5, б); 8,0 мВт (рис. 6, а) и 19,0 мВт (рис. 6, б).

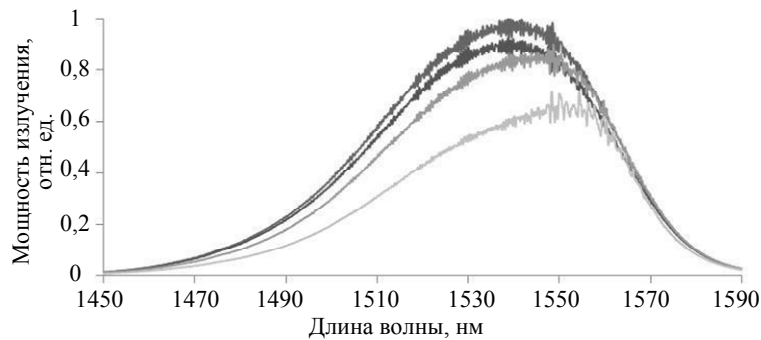


Рис. 2. Спектр светодиодного модуля ELED-1550-1-E-9-SM1-FA-CW в зависимости от коэффициента обратных отражений (сверху вниз без обратных отражений: -29 дБ; -16,8 дБ; -13,7 дБ)

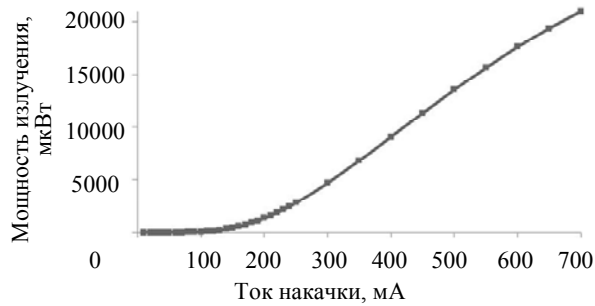


Рис. 3. Ватт-амперная характеристика СЛД фирмы ThorLabs S5FC1005SXL

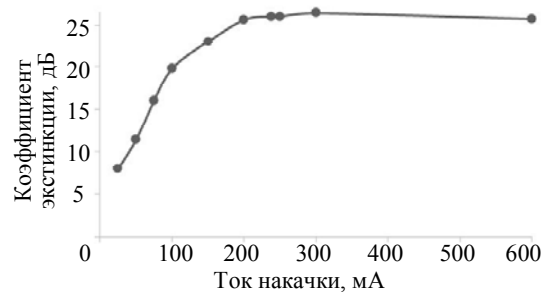


Рис. 4. График зависимости коэффициента экстинкции от тока накачки СЛД фирмы ThorLabs S5FC1005SXL

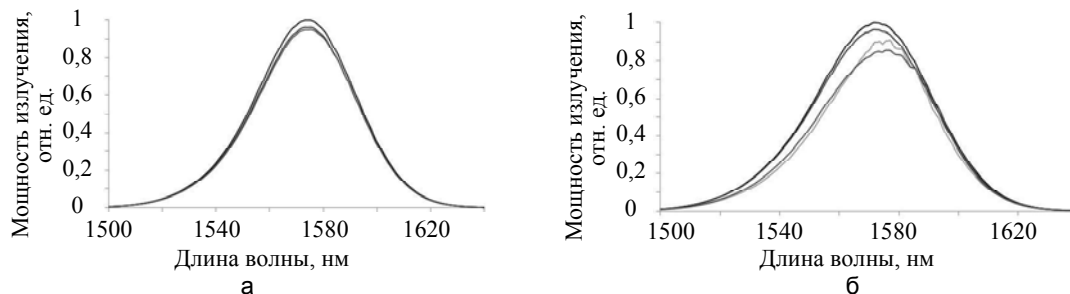


Рис. 5. Спектр СЛД при токе накачки: 187,7 мА в зависимости от коэффициента обратных отражений (сверху вниз без обратных отражений: -26,6 дБ; -9,1 дБ) (а); 237,5 мА в зависимости от коэффициента обратных отражений (сверху вниз без обратных отражений: -29,1 дБ; -12,8 дБ; -8,7 дБ) (б)

В результате исследований было подтверждено, что источники оптического излучения, такие как СЛД, в достаточной степени чувствительны к ортогонально поляризованным обратным отражениям, которые возникают в оптической схеме. Причем при снижении тока накачки, и, как следствие, уменьшении мощности источника зависимость от величины обратных отражений становится более слабая: форма

спектра изменяется при меньших соотношениях мощности обратных отражений к мощности источника (рис. 5, 6). Также это подтверждается зависимостью коэффициента экстинкции от тока накачки: при увеличении мощности оптического излучения увеличивается степень поляризации, что влечет за собой более сильное влияние уровня обратных отражений (рис. 4).

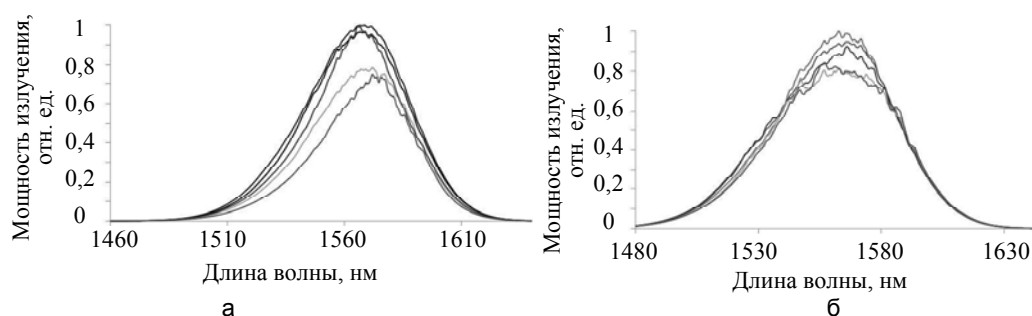


Рис. 6. Спектр СЛД при токе накачки: 378 мА в зависимости от коэффициента обратных отражений (сверху вниз без обратных отражений:  $-21,3$  дБ;  $-12,9$  дБ;  $-10,7$  дБ;  $-9,7$  дБ) (а); 600 мА в зависимости от коэффициента обратных отражений (сверху вниз без обратных отражений:  $-30,8$  дБ;  $-19,9$  дБ;  $-18,2$  дБ;  $-16,1$  дБ) (б)

### Исследование обратных отражений, введенных с соосной поляризацией

В зависимости от степени поляризации обратных отражений деградация источников оптического излучения проявляется в разной степени. Для сравнения режимов обратных отражений было проведено исследование, в котором поляризация обратных отражений имела одну ось с поляризацией источника. В данной конфигурации состояние поляризации подстраивается волоконным контроллером поляризации таким образом, чтобы уровень обратных отражений был минимальным.

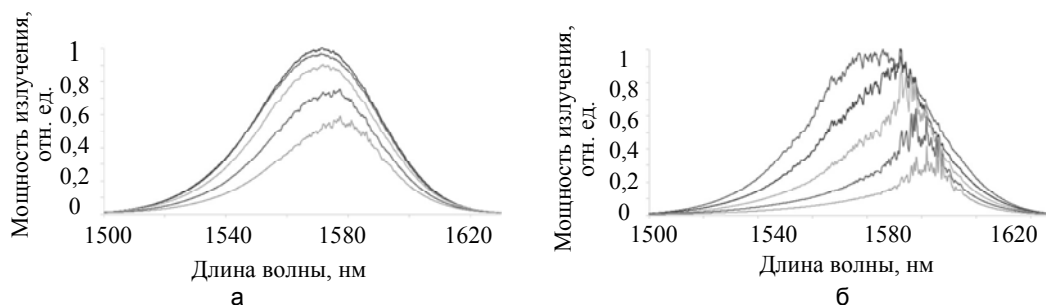


Рис. 7. Спектр СЛД при токе накачки: 237,5 мА в зависимости от коэффициента обратных отражений (сверху вниз без обратных отражений:  $-29,5$  дБ;  $-24,7$  дБ;  $-19,9$  дБ;  $-16,2$  дБ) (а); 600,0 мА в зависимости от коэффициента обратных отражений (сверху вниз без обратных отражений:  $-27,7$  дБ;  $-25,0$  дБ;  $-22,0$  дБ;  $-19,2$  дБ) (б)

Результаты исследований влияния обратных отражений, введенных в ось к источнику излучения, представлены на рис. 7, а, б, для токов накачки 237,5 мА и 600 мА соответственно. При данных значениях токов накачки СЛД мощность излучения источника составила 2,3 мВт и 19,0 мВт соответственно. Из полученных результатов видно, что при введении обратных отражений с поляризацией, совпадающей с поляризацией источника оптического излучения, искажение спектра происходит быстрее, следовательно, деградация источника более существенна, чем в режиме, где обратные отражения вводятся ортогонально (рис. 5, б и рис. 6, б). Также наблюдается значительное снижение мощности оптического излучения источника при увеличении уровня обратных отражений.

### Заключение

Проведено исследование влияния уровня обратных отражений на источники оптического излучения типа суперлюминесцентный диод. Подтверждено, что эти источники в достаточной степени чувствительны к обратным отражениям, которые возникают в оптической схеме. Выявлено, что влияние на источники зависит от типа поляризации обратных отражений: при вводе обратных отражений в ось с источником излучения искажение спектра происходит быстрее, чем при ортогональном вводе, причем при увеличении мощности оптического излучения источника искажение спектра происходит сильнее. Сравнивая оба источника оптического излучения при одинаковых мощностях излучения (рис. 2 и рис. 5, б), можно сделать вывод, что искажение спектра и соответственно деградация источника в первом приближении наступают при одинаковых значениях коэффициента обратных отражений:  $-13,7$  дБ для светодиодного модуля ELED-1550-1-E-9-SM1-FA-CW и  $-12,8$  дБ для суперлюминесцентного диода фирмы ThorLabs.

Для устранения чувствительности к обратным отражениям необходимо на выходе источника оптического излучения устанавливать изолятор с соответствующим коэффициентом изоляции, который бы предотвращал процесс деградации источника из-за обратных отражений. Также для уменьшения чувствительности к обратным отражениям возможно использование источников с меньшей мощностью. Это видно на рис. 5, а: при мощности 1,2 мВт суперлюминесцентного диода фирмы ThorLabs обратные отражения на спектр источника практически не влияют.

Полученные результаты необходимо учитывать при проектировании оптической схемы волоконно-оптических датчиков. Необходимо проводить численный расчет величины обратных отражений, возникающих в оптическом тракте. При превышении допустимого значения рекомендуется устанавливать оптический изолятор необходимого номинала.

### References

1. Shidlovski V.R. *Superluminescent Diodes. Short Overview of Device Operation Principles and Performance Parameters*. Available at: [http://www.superlumdiodes.com/pdf/sld\\_overview.pdf](http://www.superlumdiodes.com/pdf/sld_overview.pdf) (accessed 11.06.2014).
2. Shidlovski V.R. *Superluminescent Diodes. Application Notes. SLD Sensitivity to Optical Feedback*. Available at: [http://www.superlumdiodes.com/pdf/sld\\_feedback.pdf](http://www.superlumdiodes.com/pdf/sld_feedback.pdf) (accessed 11.06.2014).
3. *Superluminescent Light Emitting Diodes: Device Fundamentals and Reliability*. Available at: [http://www.inphenix.com/pdfdoc/Application\\_Notes\\_for\\_SLEDs.pdf](http://www.inphenix.com/pdfdoc/Application_Notes_for_SLEDs.pdf) (accessed 11.06.2014).
4. Sheu F.-W., Luo P.-L. Temporal coherence characteristics of a superluminescent diode system with an optical feedback mechanism. *Proc. Education and Training in Optics and Photonics, ETOP 2007*. Ottawa, Canada, 2007, p. EMB6.
5. Fukuda M. *Optical Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons, 1999, 440 p.
6. Ab-Rahman M.S., Hassan M.R. Theory of shutdown of semiconductor laser source remotely. *Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics*, 2010, vol. 27, no. 8, pp. 1626–1633. doi: 10.1364/JOSAB.27.001626
7. Ab-Rahman M.S., Hassan R.M. The combined effect of temperature of operation and external optical feedback on the turn-on time delay of semiconductor laser diodes. *Optik*, 2011, vol. 122, no. 3, pp. 266–272. doi: 10.1016/j.ijleo.2010.01.002
8. Osmundsen J.H., Gade N. Influence of optical feedback on laser frequency spectrum and threshold conditions. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1985, vol. QE-19, no. 3, pp. 465–469.
9. Lo B.S.K., Ghafouri-Shiraz H. Spectral characteristics of distributed feedback laser diodes with distributed coupling coefficient. *Journal of Lightwave Technology*, 1995, vol. 13, no. 2, pp. 200–212. doi: 10.1109/50.365207
10. Tkach R.W., Chraplyvy A.R. Regimes of feedback effects in 1.5- $\mu\text{m}$  distributed feedback lasers. *Journal of Lightwave Technology*, 1985, vol. LT-4, no. 11, pp. 1655–1661.
11. Wu H.-J., Chang H.-C. Turn-on jitter in semiconductor lasers with moderate reflecting feedback. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1992, vol. 4, no. 4, pp. 339–342. doi: 10.1109/68.127206
12. Langley L.N., Shore K.A. The effect of external optical feedback on the turn-on delay statistics of laser diodes under pseudorandom modulation. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1992, vol. 4, no. 11, pp. 1207–1209. doi: 10.1109/68.166944
13. Langley L.N., Shore K.A. Effect of external optical feedback on timing jitter in modulated laser diodes. *Journal of Lightwave Technology*, 1993, vol. 11, no. 3, pp. 434–441. doi: 10.1109/50.219577
14. Homar M.V., Mirasso C.R. Effect of optical feedback on fast modulated semiconductor lasers. *IEE Proceedings: Optoelectronics*, 1997, vol. 144, no. 1, pp. 30–33.
15. Koehler B.G., Bowers J.E. In-line single-mode fiber polarization controllers at 1.55, 1.30, and 0.63  $\mu\text{m}$ . *Applied Optics*, 1985, vol. 24, no. 3, pp. 349–353.
16. Drexler W., Fujimoto J.G. *Optical Coherence Tomography. Technology and Applications*. NY, Springer, 2008, 1346 p.

- Мухтубаев Азамат Булатович** – инженер, аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, mukhtubaev.ab@gmail.com
- Аксарин Станислав Михайлович** – младший научный сотрудник, аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, staksar@gmail.com
- Azamat B. Mukhtubayev** – engineer, student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, mukhtubaev.ab@gmail.com
- Stanislav M. Aksarin** – junior scientific researcher, postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, staksar@gmail.com