

# Влияние оптической обратной связи на выходные характеристики квантоворазмерных суперлюминесцентных диодов

Е.В.Андреева, М.В.Шраменко, С.Д.Якубович

*Исследовано влияние слабой оптической обратной связи на мощностные и спектральные характеристики светоизлучающих модулей на основе квантоворазмерных суперлюминесцентных диодов (СЛД) ближнего ИК диапазона. Показано, что даже незначительная паразитная обратная связь ( $k_{\text{рб}} < -30$  дБ) деформирует спектр излучения мощных СЛД и заметно снижает их полезную выходную мощность.*

**Ключевые слова:** суперлюминесцентный диод (СЛД), квантоворазмерная гетероструктура, оптическая обратная связь.

## 1. Введение

Суперлюминесцентный диод (СЛД) представляет собой полупроводниковый лазерный усилитель, обладающий обычно высоким однопроходным оптическим усилением, но работающий без внешних оптических воздействий в режиме усиления собственного спонтанного излучения. Внешний спектрально-согласованный сигнал может радикальным образом изменить выходные характеристики СЛД, а при определенных условиях даже привести его к деградации. Это относится и к собственному суперлюминесцентному излучению, которое может вернуться в активный канал СЛД из-за паразитных отражений в элементах оптических схем.

В подавляющем большинстве практических применений используются СЛД-модули с оптоволоконным выходом. В этом случае радикальным решением указанной проблемы является установка оптического изолятора на выходе модуля. Для телекоммуникационного диапазона оптического спектра 1300–1600 нм разработано множество высокоэффективных миниатюрных моделей оптоволоконных изоляторов. К сожалению, оптические изоляторы для ближнего ИК диапазона более громоздки, весьма дорогостоящи и обладают относительно более высоким уровнем потерь и меньшей спектральной полосой изоляции. По этой причине разработчики соответствующей оптоэлектронной аппаратуры во всех случаях, когда это возможно, стремятся избежать их использования. Поэтому достоверные данные о допустимом уровне паразитной обратной связи для используемых СЛД-модулей приобретают особую важность.

В последние годы стремительно расширяется применение нового бесконтактного и неразрушающего метода медицинской диагностики – оптической когерентной то-

мографии (ОКТ) [1]. Особенно широкое применение этот метод нашел в офтальмологии. В соответствующих ОКТ-системах чаще всего используются широкополосные источники излучения ближнего ИК диапазона 800–950 нм. Среди них лидирующее положение занимают СЛД. В частности, светоизлучающие модули серии SLD-371 на основе однослойной квантоворазмерной (GaAl)As-гетероструктуры [2, 3], разработанные в середине 1990-х гг. и совершенствующиеся по сей день, нашли применение в различных ОКТ-системах высокого разрешения. В зависимости от конструкции этих СЛД их непрерывная мощность на выходе одномодового волоконного световода (ОВС) может составлять от 1.0 до 25.0 мВт, а ширина спектра излучения СЛД при определенном токе инжекции может достигать около 50 нм (по уровню 0.5), что обеспечивается выравниванием спектральных максимумов, соответствующих квантовым переходам из основной и первой возбужденной подзон. Изменение рабочего режима в результате изменения тока инжекции приводит к деформации и сужению спектра и, следовательно, к увеличению длины когерентности. То же может происходить и при возникновении оптической обратной связи в результате паразитных отражений излучения СЛД от внешних оптических элементов. Целью настоящей работы являлось исследование и количественное описание этого эффекта для различных моделей вышеупомянутых СЛД-модулей.

## 2. Схема и результаты эксперимента

В настоящее время выпускаются четыре категории светоизлучающих модулей серии SLD-371 – MP, NP1, NP2 и NP3 с минимальной мощностью на выходе ОВС 1.0, 5.0, 10.0 и 20.0 мВт соответственно. Модули первых двух категорий обычно собираются в корпусах типа DIL, а более мощные модули – в корпусах типа Butterfly. Стандартный модуль содержит СЛД, смонтированный на термoeлектрическом микроохладителе, терморезистор, встроенный в теплопровод СЛД, и фотодиод-монитор, расположенный напротив задней грани СЛД. Этот фотодиод позволяет использовать СЛД-модули в системах с автоматическим контролем оптической мощности. Расположение фотодиода внутри модуля исключает возникнове-

Е.В.Андреева, М.В.Шраменко. ООО «Суперлюминесцентные диоды», Россия, 117454 Москва, п/я 70;  
e-mail: andreeva@superlumdiodes.com

С.Д.Якубович. Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Россия, 117454 Москва, просп. Вернадского, 78;  
e-mail: yakubovich@superlumdiodes.com

Поступила в редакцию 2 августа 2006 г., после доработки – 16 октября 2006 г.

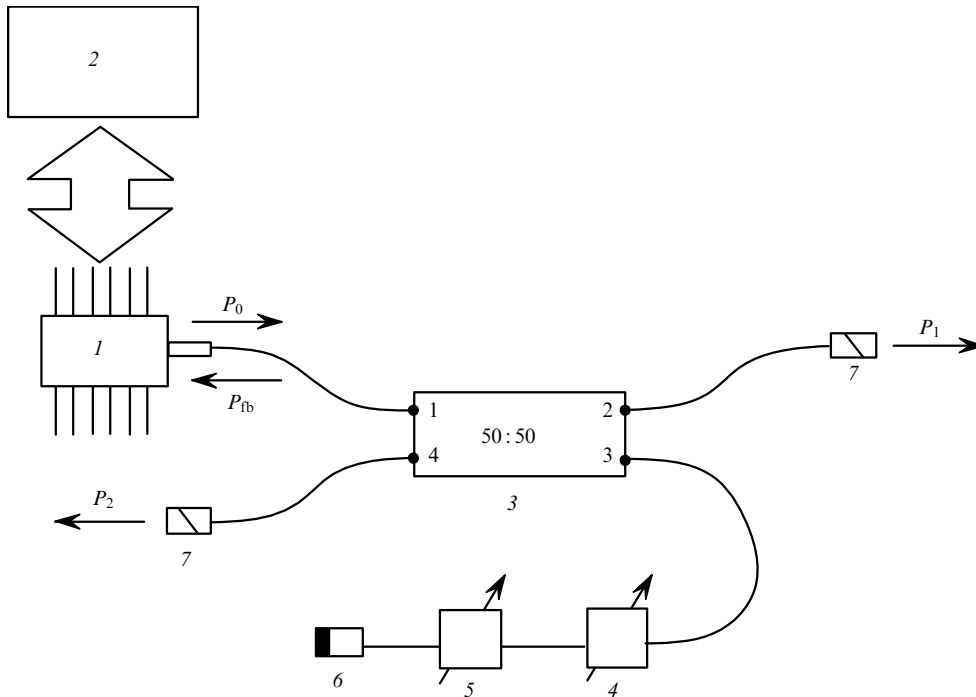


Рис.1. Схема измерений:

1 – светоизлучающий модуль SLD-371; 2 – электронный драйвер PILOT-4; 3 – одномодовый волоконный X-разветвитель; 4 – контроллер поляризации; 5 – перестраиваемый оптический аттенуатор; 6 – оптоволоконное зеркало; 7 – оптоволоконные коннекторы типа FC/APC.

ние паразитной оптической обратной связи. Передняя грань СЛД прецизионно съюстирована и жестко зафиксирована относительно входного торца ОВС. На выходном торце последнего обычно устанавливается коннектор типа FC/APC, также исключающий возникновение обратной связи. Если волоконный выход СЛД-модуля присоединен с помощью коннектора или приварен к внешней оптоволоконной системе, в которой имеются паразитные отражения, то в отсутствие оптического изолятора отраженный сигнал может беспрепятственно попасть в активный канал СЛД.

Измерительная схема изображена на рис.1. СЛД-модуль 1, установленный в специальном держателе, подключался к специализированному электронному драйве-

ру 2 типа PILOT-4, который обеспечивал ток инжекции СЛД, его термостабилизацию и индикацию тока встроенного фотодиода  $I_{phd}$ . Все измерения проводились при температуре 25 °С в режиме автоматического контроля непрерывного тока инжекции. Система автоматического контроля мощности не использовалась. Выходной ОВС модуля был приварен к порту 1 симметричного широкополосного X-разветвителя 3 на основе ОВС. Оптические передаточные характеристики  $T_{ij}$  ( $i, j = 1 - 4$ ) между всеми портами разветвителя были предварительно измерены. Выходной ОВС порта 3 был приварен к контроллеру поляризации 4, позволявшему проводить настройку на максимум отраженного оптического сигнала, т. к. исследованные СЛД являются поляризационно-чувствитель-

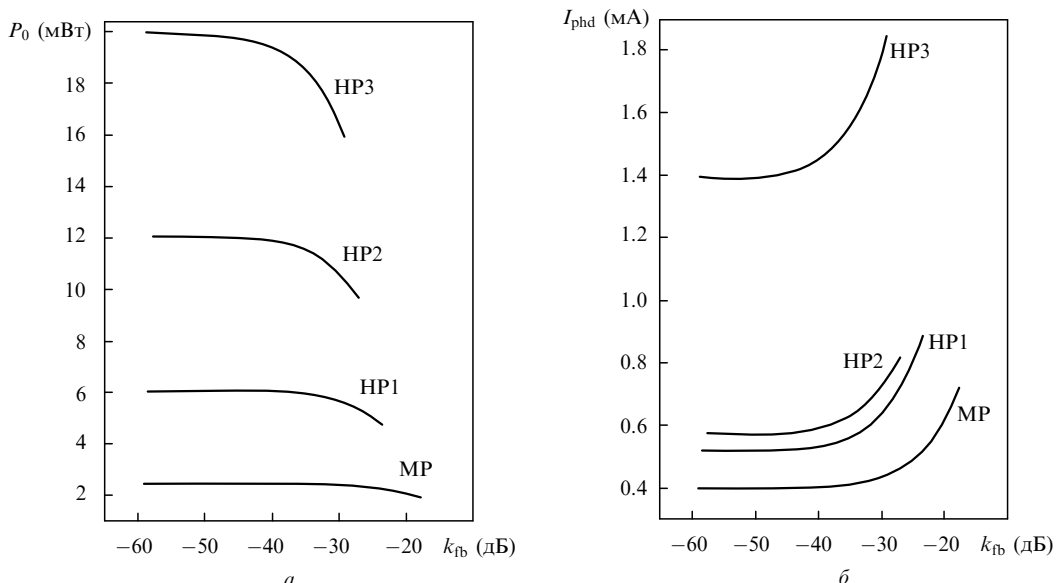


Рис.2. Типичные зависимости выходной мощности  $P_0$  (а) и тока встроенного фотодиода  $I_{phd}$  (б) от коэффициента обратной связи для модулей серии SLD-371 различных категорий.

ными. Далее в схеме были установлены перестраиваемый оптический аттенуатор 5 и оптоволоконное зеркало 6, образованное напылением золота на нормальный скл ОВС. Точки сварки ОВС, а также измерительная аппаратура на рис.1 не показаны.

Измерение сигналов  $P_1$  и  $P_2$  при различных настройках аттенуатора 5 позволяло из простых соотношений определить истинную выходную мощность  $P_0$  и коэффициент обратной связи  $k_{fb}$ :

$$P_0 = \frac{P_1}{T_{12}}, \quad k_{fb} = \frac{P_{fb}}{P_0} = \frac{T_{12}T_{31}P_2}{T_{34}P_1}. \quad (1)$$

Отметим, что в соотношения (1) не входят коэффициенты отражения зеркала и пропускания аттенуатора, что заметно облегчает проведение измерений.

На рис.2 приведены зависимости  $P_0$  и  $I_{phd}$  от уровня обратной связи. Они показывают, что, начиная с некоторого значения  $k_{fb}$  (тем меньшего, чем мощней СЛД, подвергается воздействию), выходная мощность начинает быстро падать, а фототок монитора – быстро расти. Это свидетельствует о нарастании выходной мощности с задней грани, т.е. о превращении однопроходного СЛД в двухпроходный. Для исследованных модулей спад мощности на 20 % наблюдается при  $k_{fb}$  порядка  $-17$ ,  $-23$ ,  $-27$  и  $-30$  дБ для категорий модулей МР, НР1, НР2 и НР3 соответственно. Очевидно, этот эффект будет еще сильнее, если СЛД-модуль будет работать в режиме автоматического контроля мощности. При возникновении обратной связи система контроля будет удерживать  $I_{phd}$  на исходном уровне, снижая ток инжекции СЛД и еще сильнее уменьшая полезную выходную мощность.

Рост искажения спектра выходного излучения с увеличением уровня обратной связи показан на рис.3.

Проведенное исследование выходных характеристик суперлюминесцентных диодов позволяет выработать ко-

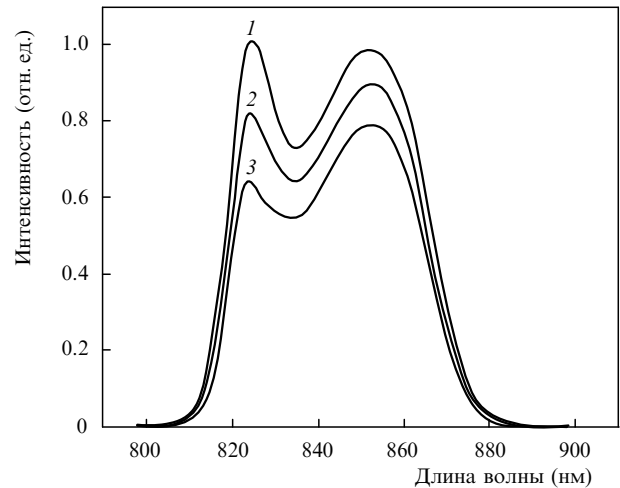


Рис.3. Спектры выходного излучения модуля SLD-371-HP1 при различных уровнях обратной связи:  $k_{fb} = -40$  (1),  $-28$  (2) и  $-23$  дБ (3).

личественные рекомендации относительно допустимого уровня паразитной обратной связи для многочисленных пользователей приборов серии SLD-371.

Авторы выражают признательность В.Р.Шидловскому за инициирование данной работы и А.Т.Семенову за большое внимание к ней. Работа частично поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации (проект РНП. 2.1.1.1094)

1. Fersher A.F., Drexler W., Hitznerberger C.K., Lasser T. *Rep. Prog. Phys.*, **66**, 239 (2003).
2. Semenov A.T., Batovrin V.K., Garmash I.A., Shidlovski V.R., Shramenko M.V., Yakubovich S.D. *Electron. Lett.*, **31** (4), 314 (1995).
3. Батоврин В.К., Гармаш И.А., Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Любарский А.В., Плявенек А.Г., Сафин С.А., Семёнов А.Т., Шидловский В.Р., Шраменко М.В., Якубович С.Д. *Квантовая электроника*, **23** (2), 113 (1996).