

Широкополосные источники излучения высокой яркости на основе суперлюминесцентного диода и полупроводникового лазерного усилителя

В.В.Прохоров, Д.С.Шваков, С.Д.Якубович

Экспериментально показано, что использование полупроводникового лазерного усилителя (ПЛУ) бегущей волны позволяет значительно улучшить выходные характеристики суперлюминесцентного диода, в частности повысить выходную оптическую мощность или расширить спектральную полосу излучения. При использовании излучающих в спектральной области 1300 нм ПЛУ, выполненных на основе двухсторонних (InGa)PAs-гетероструктур с отдельным ограничением, и различных СЛД в качестве источников входного сигнала получена непрерывная мощность до 50 мВт на выходе одномодового волоконного световода и спектральная полуширина линии излучения до 70 нм.

Ключевые слова: суперлюминесцентный диод, полупроводниковый лазерный усилитель.

1. Введение

Суперлюминесцентные диоды (СЛД), совмещающие в себе высокую яркость полупроводниковых лазеров и широкий спектр излучения светоизлучающих диодов, являются оптимальными источниками излучения для оптической когерентной томографии (ОКТ), оптической метрологии и многих типов оптических сенсоров. Для некоторых практических применений требуются СЛД-модули с оптоволоконным выходом и максимально достижимой непрерывной выходной мощностью P . Среди серийно выпускаемых СЛД-модулей, излучающих в спектральной области 1300 нм, максимальной выходной мощностью $P \approx 20$ мВт обладают приборы фирм EXALOS, COVEGA, InPhenix и некоторых других. Гораздо более высокий уровень выходной мощности (до нескольких сотен милливатт) может быть получен при использовании СЛД с клиновидным активным каналом или системы, состоящей из обычного СЛД и полупроводникового лазерного усилителя (ПЛУ) с клиновидным активным каналом [1–3]. Однако ввод излучения таких источников в одномодовый волоконный световод (ОВС) является сложной проблемой, сопряженной с большими затратами.

В настоящей работе исследуется (InGa)PAs-ПЛУ бегущей волны с узким активным каналом, обеспечивающим высокоэффективный ввод излучения в ОВС. Основные цели работы – получение максимальной мощности для системы СЛД + ПЛУ и уширение спектра выходного излучения ПЛУ при использовании его в качестве смесителя собственного суперлюминесцентного излуче-

ния и входного излучения СЛД со спектром, смещенным в длинноволновую сторону.

2. Экспериментальные результаты

Экспериментальный ПЛУ-модуль с входным и выходным ОВС типа SMF-28 был собран в корпусе Butterfly. При изготовлении активного элемента использовалась двухсторонняя гетероструктура с отдельным ограничением, выращенная методом газотранспортной эпитаксии из металлоорганических соединений (InGa)PAs/InP, с максимумом линии суперлюминесценции вблизи $\lambda = 1280$ нм. Активный канал ПЛУ представлял собой прямой гребневидный волновод шириной 4 мкм, сформированный методом химического травления через фотолитографическую маску. Угол между его осью и нормалью к торцевым граням кристалла, на которые были нанесены антиотражающие покрытия, составлял 7° . Длина активного канала была равна 1000 мкм. Такая конструкция обеспечивала надежное подавление положительной оптической обратной связи (даже при максимальных уровнях накачки остаточная спектральная модуляция модами Фабри–Перо не превышала 5%). Кристалл напаялся на медный теплопровод и на термоэлектрический микроохладитель р-стороной вверх. В качестве датчика температуры использовался терморезистор, находящийся в тепловом контакте с теплопроводом. Конструкция модуля обеспечивала термостабилизацию активного элемента в широком диапазоне внешних температур при рассеиваемой мощности до 1 Вт.

В эксперименте, направленном на получение максимальной мощности в системе СЛД + ПЛУ, в качестве источника входного сигнала использовался серийный модуль SLD-561-HP2 с выходным ОВС и активным элементом на основе той же полупроводниковой гетероструктуры. Его излучение могло попадать на вход ПЛУ непосредственно после сварки его выходного ОВС с входным ОВС усилителя или через широкополосный оптоволоконный изолятор, предотвращающий попадание суперлюминесценции ПЛУ в активный канал СЛД. На

В.В.Прохоров, Д.С.Шваков. ООО «Суперлюминесцентные диоды», Россия, 117454 Москва, п/я 70;

e-mail: prokhorov@superlumdiodes.com; Svakov@list.ru

С.Д.Якубович. Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Россия, 119454 Москва, просп. Вернадского, 78;

e-mail: yakubovich@superlumdiodes.com

Поступила в редакцию 14 марта 2005 г.

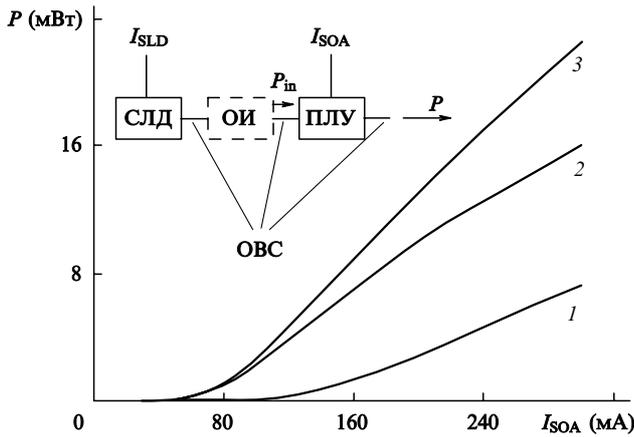


Рис.1. Ватт-амперные характеристики ПЛУ без входного сигнала ($I_{\text{SLD}} = 0, P_{\text{in}} = 0$) (1), системы СЛД + ПЛУ без ОИ ($I_{\text{SLD}} = 300 \text{ мА}, P_{\text{in}} = 8 \text{ мВт}$ при $I_{\text{SOA}} = 0$) (2) и системы СЛД + ОИ + ПЛУ ($P_{\text{in}} = 7.6 \text{ мВт} = \text{const}$) (3) при $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; I_{SLD} и I_{SOA} – токи накачки СЛД и ПЛУ.

рис.1 представлены ватт-амперные характеристики ПЛУ без входного сигнала и при наличии входного сигнала, поступающего на вход ПЛУ непосредственно и через оптический изолятор. Эти кривые показывают, что система СЛД + ПЛУ позволяет получить значительный выигрыш в квантовой эффективности, особенно при использовании оптического изолятора (ОИ), предотвращающего подавление входного сигнала встречным излучением ПЛУ.

Передачные характеристики ПЛУ при различных токах накачки I_{SOA} в зависимости от мощности входного сигнала P_{in} (рис.2) показывают, что этот ПЛУ представляет несомненный интерес для оптоволоконных линий связи, т.к. обеспечивает для малых сигналов «чистое» (из ОВС в ОВС) усиление, превышающее 20 дБ. Рекордное значение $P \approx 50 \text{ мВт}$ было получено в условиях глубокого насыщения оптического усиления при $T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_{\text{SOA}} = 600 \text{ мА}$, $I_{\text{SLD}} = 300 \text{ мА}$, $P_{\text{in}} = 7.5 \text{ мВт}$. Соответствующие спектры излучения СЛД, ПЛУ и системы СЛД + ОИ + ПЛУ представлены на рис.3. Полуширина результирующего спектра составляет 26 нм (несколько «обужена» по сравнению с полуширинами спектров СЛД и ПЛУ), а центральная длина волны 1296 нм смещена в длинноволновую область, соответствующую максимуму оптического усиления ПЛУ.

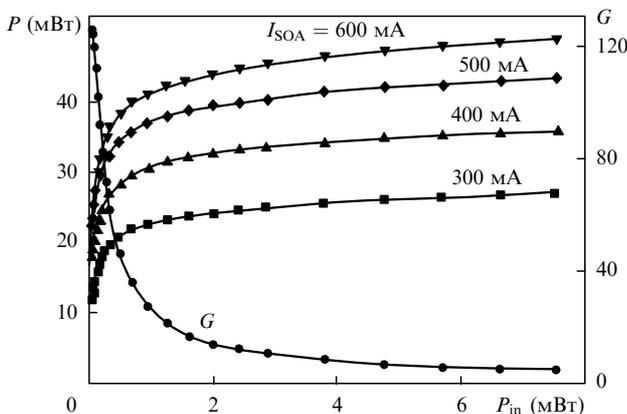


Рис.2. Передачные характеристики ПЛУ при различных токах инжекции I_{SOA} и его коэффициент оптического усиления G при $I_{\text{SOA}} = 600 \text{ мА}$ ($T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$).

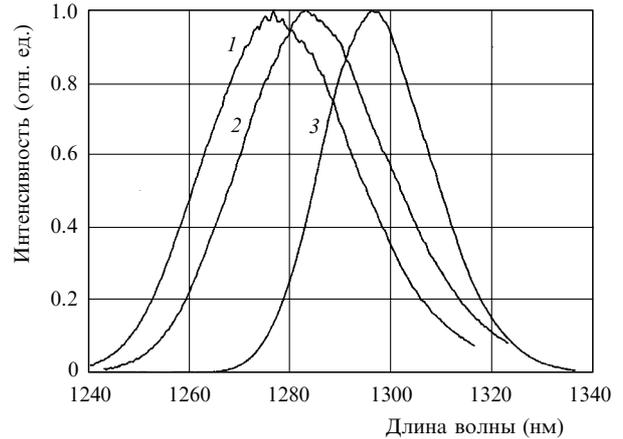


Рис.3. Спектр излучения ПЛУ в отсутствие входного сигнала (1), спектр излучения входного СЛД (2) и спектр выходного излучения системы СЛД + ОИ + ПЛУ (3) при $T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_{\text{SLD}} = 300 \text{ мА}$, $P_{\text{in}} = 7.6 \text{ мВт}$, $I_{\text{SOA}} = 600 \text{ мА}$, $P = 49 \text{ мВт}$.

Во втором эксперименте серийный модуль SLD-561-HP1 с центральной длиной волны излучения вблизи 1320 нм был использован как источник входного сигнала. Его спектральная полоса соответствовала области прозрачности ПЛУ, вследствие чего излучение проходило сквозь активный канал ПЛУ без усиления, с небольшими диссипативными потерями. При накачке ПЛУ его собственное более коротковолновое суперлюминесцентное излучение добавлялось к излучению входного СЛД, формируя на выходе широкий комбинированный спектр. Фор-

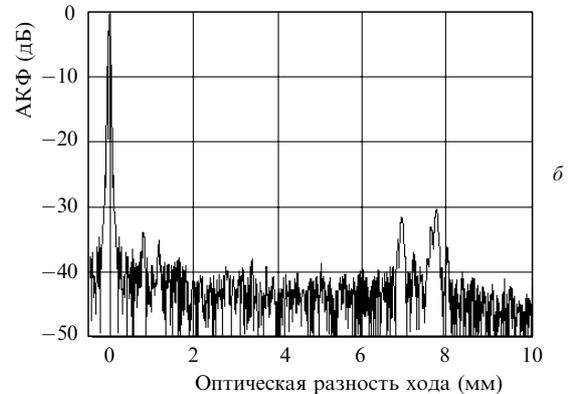
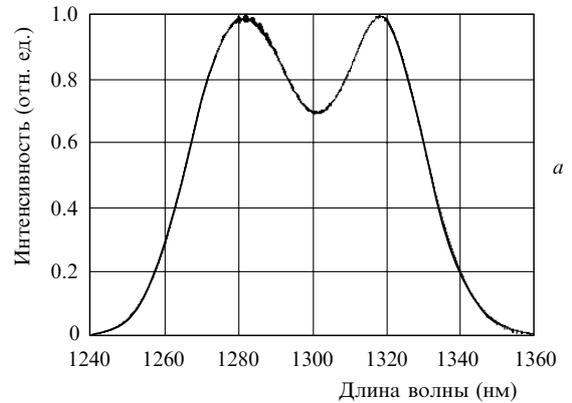


Рис.4. Спектр выходного излучения ПЛУ, выполняющего роль смесителя собственного суперлюминесцентного излучения и входного излучения СЛД с полосой излучения, смещенной в длинноволновую область спектра при $T_{\text{SLD}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_{\text{SLD}} = 193 \text{ мА}$, $T_{\text{SOA}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_{\text{SOA}} = 300 \text{ мА}$, $P \approx 10 \text{ мВт}$ (а), и АКФ комбинированного излучения (б).

ма этого спектра (соотношение спектральных максимумов, провал между ними, полная ширина) может изменяться в некоторых пределах вследствие изменения накачки и температур входного СЛД и ПЛУ. Такая конструкция несколько проще обычно используемой в широкополосных источниках излучения на основе СЛД, предназначенных для ОКТ, где с целью суммирования излучения двух или более СЛД-модулей применяются широкополосные ОВС-разветвители [4, 5]. На рис.4 показана одна из реализаций комбинированного спектра с выровненными спектральными максимумами, соответствующая $P \approx 10$ мВт, и автокорреляционная функция (АКФ) интенсивности такого источника излучения. Ее полуширина, определяющая длину когерентности излучения, составляет 26 мкм.

Таким образом, в настоящей работе показано, что применение ПЛУ позволяет заметно увеличить как выходную оптическую мощность, так и спектральную по-

лосу излучения источников света на основе СЛД. В частности, мощность $P = 50$ мВт является, по нашим сведениям, рекордной для соответствующих источников, излучающих в спектральной области 1300 нм.

Авторы выражают признательность А.Т.Семенову за внимание к работе. Работа частично поддержана грантом МНТЦ № 2651Р.

1. Yamatoya T., Mori S., Koyama F., Iga K. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, 5121 (1999).
2. Yamatoya T., Sekiguchi S., Koyama F., Iga K. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, L678 (2001).
3. Donnelly J.P., Walpole J.N., Betts G.E., Groves S.H., Woodhouse J.P., O'Donnell F.J., Missaglia L.J., Bailey R.J., Napoleone A. *IEEE Photon.Tech.Lett.*, **8** (11), 1450 (1996).
4. Ко Т.Н., Adler D.C., Fujimoto J.G., Mamedov D., Prokhorov V., Shidlovski V., Yakubovich S. *Opt.Express*, **12** (10), 2112 (2004).
5. Адлер Д.С., Ко Т.Х., Конорев А.К., Мамедов Д.С., Прохоров В.В., Фуджимото Д.Д., Якубович С.Д. *Квантовая электроника*, **34** (10), 915 (2004).