

Двухпроходный суперлюминесцентный диод с клиновидным активным каналом

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

Исследованы оптические характеристики суперлюминесцентного диода (СЛД) с клиновидным активным каналом на основе двойной гетероструктуры (GaAl)As с разделным ограничением. Односторонняя обратная связь обеспечивалась внешними отражателями. Мощность излучения через широкоапертурный выход достигала 100 мВт при расходимости пучка, близкой к дифракционной. Ширина спектра излучения (степень когерентности СЛД) могла изменяться в широких пределах в зависимости от спектральной селективности отражателя.

Ключевые слова: суперлюминесцентный диод, полупроводниковый оптический усилитель.

Полупроводниковые суперлюминесцентные диоды (СЛД), удачно объединяющие в себе высокую яркость лазерных диодов и низкую когерентность светоизлучающих диодов, широко используются в качестве излучателей для различных оптических датчиков, волоконно-оптических гироскопов, оптической томографии, специализированных осветителей. Во многих из этих практических применений выходная мощность СЛД является ключевым параметром.

При изготовлении мощных лазерных диодов, обеспечивающих дифракционную расходимость выходного излучения, эффективно используются структуры с клиновидным или веерообразным активным каналом [1–3]. Обычно они выполняют роль усилителя мощности задающего генератора, монолитно интегрированного на общей подложке. Для подавления положительной обратной связи на выходные грани усилителей наносятся высокоэффективные просветляющие покрытия. В настоящей работе подобная клиновидная структура использована для создания СЛД с повышенной выходной мощностью.

Экспериментальные образцы были изготовлены на основе двусторонней гетероструктуры (GaAl)As с разделным ограничением, излучающей в спектральном диапазоне 790 нм. Боковое оптическое ограничение обеспечивалось созданием гребневидной волноводной структуры. Конфигурация активного канала СЛД изображена на рис. 1 (проекция на плоскость (100)). В отличие от упомянутых выше работ, для более надежного подавления обратной связи кроме просветляющих покрытий использовано наклонное положение активного канала по отношению к торцевым граням кристалла. Для выбранного угла падения излучения (7°) многослойные диэлектрические покрытия на торцах обеспечивали коэффициент отражения $R < 0.1\%$. Длина узкой «предусилительной» части активного канала L_1 (ширина $W_1 = 4$ мкм) варьи-

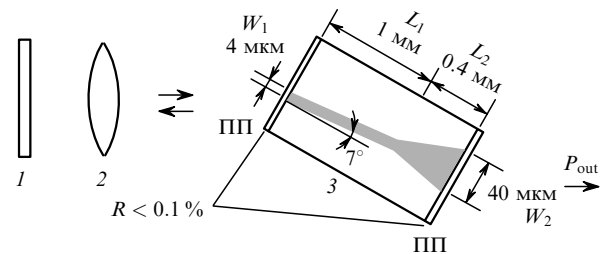


Рис. 1. Конфигурация СЛД и схема эксперимента: 1 – внешний отражатель; 2 – микрообъектив; 3 – СЛД; ПП – просветляющие покрытия; P_{out} – выходная мощность излучения.

ровалась в пределах 0.4–1.0 мм. Длина клиновидной части L_2 с шириной выходной апертуры $W_2 = 40$ мкм составляла 0.4 мм. Кристаллы напайвались на медные теплопроводы активным каналом вверх. Конструкция теплопровода обеспечивала свободный выход излучения во внешнее пространство с обеих торцевых граней. В ходе измерений температура поддерживалась постоянной на уровне 20°C с помощью системы термостабилизации.

Отметим, что серийно выпускаемые СЛД с однородным узким каналом ($W = 3 - 5$ мкм) на основе аналогичной гетероструктуры, например SLD-38-MP, обладают выходной мощностью до 10 мВт при рабочем токе около 140 мА. В настоящей работе при исследовании СЛД с клиновидным активным каналом в традиционном однопроходном режиме усиления собственного спонтанного излучения нам не удалось достичь значительного увеличения выходной мощности. Лимитирующими факторами являлись катастрофическая деградация торцевой грани в области узкоапертурного выхода или перегрев диода при высоких рабочих токах.

Значительный выигрыш в выходной мощности был получен при использовании двухпроходного режима усиления. Для его реализации узкоапертурный выход СЛД состыковывался через коллимирующий просветленный микрообъектив с внешним отражателем, в качестве которого использовались плоские неселективные зеркала и дифракционные решетки в автоколлимационном режиме. Оценки показали, что при использовании зеркала с

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Россия, 117454 Москва, просп. Вернадского, 78

коэффициентом отражения 90 % около 15 % выходной мощности возвращаются в активный канал и служат входным сигналом в процессе дальнейшего усиления. Как известно, в двухпроходном СЛД, в отличие от однопроходного, пространственные распределения локальных характеристик (оптического усиления, скорости спонтанной рекомбинации, плотности фотонов) вдоль оси активного канала становятся асимметричными. В рассматриваемом случае переход к двухпроходной схеме значительно повысил мощность широкоапертурного выхода, в то время как благодаря насыщению усиления мощность узкоапертурного выхода и нагрузка на соответствующее зеркало снизились.

Оптимальные результаты получены для СЛД с длиной узкой части активного канала $L_1 = 0.7$ мм. Типичные ватт-амперные характеристики для широкоапертурного выхода таких образцов представлены на рис.2. Отметим, что при данной конфигурации площадь инжектируемого участка приблизительно в 2.5 раза больше, чем у СЛД с узким активным каналом той же длины. Как видно из кривой 2, соответствующей двухпроходному режиму с использованием плоского неселективного зеркала с коэффициентом отражения 90 %, непрерывная выходная мощность более 100 мВт достигается при токе инжекции около 350 мА. Таким образом, по сравнению с узкоканальным СЛД данное устройство позволяет получить выигрыш в выходной мощности более чем на порядок практически при той же плотности тока инжекции (~ 3 кА/см²).

Однолепестковая диаграмма направленности излучения в плоскости активного слоя с увеличением тока инжекции вначале сужается и при выходной мощности в единицы милливатт расходимость по полуширине достигает около 3.5°, практически не изменяясь при дальнейшем росте тока. Это значение в три раза превышает дифракционный предел, формально рассчитанный для 40-микрометровой апертуры и пучка с однородным распределением интенсивности с учетом наклонного падения. Анализ ближнего поля излучения показал, что распределение интенсивности в плоскости активного слоя имеет колоколообразную форму с шириной по полувысоте около 14 мкм, т. е. расходимость излучения близка к дифракционному пределу.

Это обстоятельство весьма полезно для многих практических применений: фокусировки в пятно минимальных размеров, ввода излучения в одномодовые световоды, формирования пучков требуемой конфигурации и т. п. Причина неполного заполнения излучением широ-

кой выходной апертуры состоит в неоптимальном соответствии угла раскрыва клиновидной части активного канала (5.7°) и расходимости излучения на выходе узкого «предусилительного» участка. Соответствующая оптимизация, например уменьшение угла раскрыва клина с увеличением его длины, позволит повысить внешнюю эффективность такого СЛД одновременно с уменьшением расходимости его излучения.

Максимумы спектров суперлюминесценции при высоких токах инжекции ($I > 300$ мА) располагались в области 792–797 нм. В однопроходном режиме их ширина по полувысоте составляла 12–14 нм. Глубина остаточной спектральной модуляции не превышала 3 %. В двухпроходном режиме форма спектра существенно зависела от спектральной селективности внешнего отражателя. При использовании плоского неселективного зеркала наблюдалось некоторое сужение спектров (приблизительно до 10 нм) без заметного изменения глубины остаточной модуляции.

При использовании дифракционных решеток в зависимости от их характеристик и настройки внешнего отражателя спектры могли перестраиваться в широких пределах. Минимальная ширина спектра выходного излучения (0.12 нм) была получена с отражательной решеткой 1200 штр./мм. На рис.3 представлены спектры излучения для двухпроходного режима при использовании упомянутого выше плоского зеркала (кривые 1) и отражательной решетки 600 штр./мм (кривые 2). Во втором случае спектральная полуширина линии излучения, определяемая полосой односторонней обратной связи, составляла около 0.25 нм. Спектральная плотность в максимуме линии при перестройке в полосе 785–803 нм превышала уровень «пьедестала» более чем на 25 дБ.

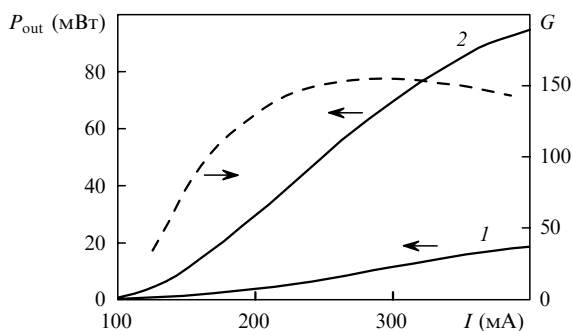


Рис.2. Ватт-амперные характеристики в однопроходном (1) и двухпроходном (2) режимах. Штриховая линия – однопроходный коэффициент усиления.

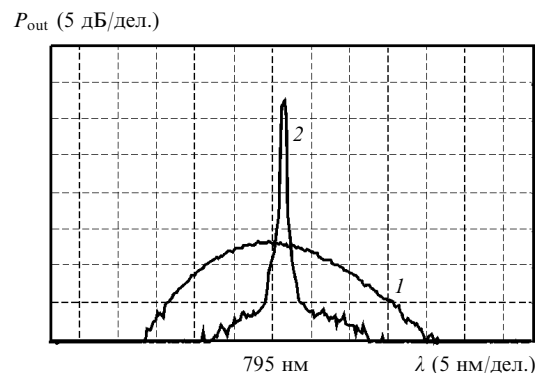
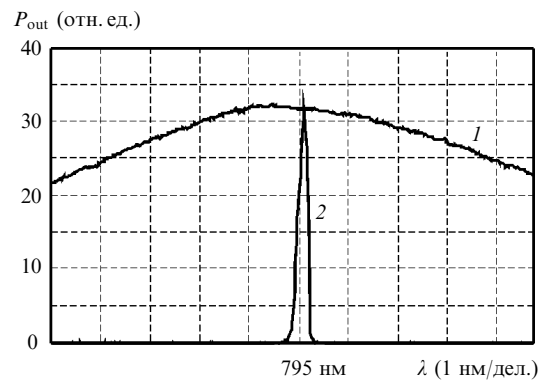


Рис.3. Спектры выходного излучения в двухпроходном режиме при использовании неселективного (1) и спектрально-селективного (2) отражателей в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабах.

Очевидно, что при использовании менее добротных спектрально-селективных отражателей можно получить любую большую ширину спектра излучения – вплоть до значения порядка 10 нм, определяемого контуром оптического усиления данного СЛД. Другими словами, степень когерентности такого СЛД может дискретно перестраиваться на два порядка величины при использовании соответствующего набора внешних спектрально-селективных отражателей. Такой излучатель может представлять интерес для интерферометрии и оптической томографии. При практической реализации целесообразно обратиться к монолитной и миниатюрной волоконно-оптической конструкции [4]. В качестве набора отражателей можно использовать набор волоконных брэгговских решеток (ВБР) с требуемыми спектральными контурами отражения, присоединенных к выходу $1 \times N$ одномодового волоконного переключателя, вход которого стыкуется с узкоапертурным выходом СЛД.

В последнее время благодаря бурному развитию волоконно-оптических систем связи со спектральным уплотнением каналов (WDM) резко вырос интерес к передатчикам с дискретной перестройкой оптической несущей частоты. Такой передатчик может быть реализован в предложенной выше конфигурации, если использовать набор узкополосных ВБР с регулярно изменяющимися длинами волн резонансного отражения – например, набор ВБР с шириной полосы отражения 0.1 нм и интервалом между спектральными максимумами отражения соседних ВБР 0.2 нм. Приведенная выше закономерность спектральной перестройки исследованных образцов показывает, что на их основе возможно создание передат-

чика на несколько десятков частотных каналов с полосой каждого 100 ГГц.

Важно отметить, что данный активный элемент может быть использован и как оптический усилитель бегущей волны. Оценка усредненного однопроходного усиления для волны, распространяющейся в сторону широкоапертурного выхода (штриховая кривая на рис.2), показывает, что при высоких токах инжекции усиление превышает 20 дБ. Очевидно, что если входным сигналом является излучение задающего одночастотного лазера, настроенного на спектральный максимум оптического усиления, коэффициент однопроходного усиления будет несколько выше 20 дБ в аналогичном режиме насыщения усиления и значительно выше для ненасыщенного входного сигнала. Такие устройства представляют интерес для спектроскопии. В частности, у исследованных образцов максимум оптического усиления находится в области резонансных линий Rb, что позволяет рассчитывать на их использование в экспериментах по охлаждению атомных пучков [5].

Авторы выражают благодарность А.Т.Семенову с сотрудниками за предоставление образцов активных элементов, а также Л.А.Ривлину и В.Л.Величанскому за внимание к работе. Настоящая работа поддержана грантом РФФИ.

1. Kintzer E.S. et al. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **5**, 605(1993).
2. O'Brien S. et al. *IEEE J. Quantum Electron.*, **29**, 2052 (1993).
3. Walpole J.N. et al. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **8**, 1429 (1996).
4. Cornwell D.N., Thomas H.T. *Appl. Phys. Lett.*, **70**, 694 (1997).
5. Ривлин Л.А., Якубович С.Д. *Квантовая электроника*, **30**, 1027 (2000).