

Двухпроходные суперлюминесцентные диоды с пониженным энергопотреблением на основе многослойной квантоворазмерной (GaAl)As-гетероструктуры

Д.С.Мамедов, А.А.Мармалюк, Д.Б.Никитин, В.В.Прохоров, С.Д.Якубович

Исследованы суперлюминесцентные диоды (СЛД) спектрального диапазона 820–840 нм с искривлённым активным каналом на основе трёхслойной квантоворазмерной (GaAl)As-гетероструктуры, предназначенные для работы без принудительной термостабилизации в диапазоне температур $-55^{\circ}\text{C} - +93^{\circ}\text{C}$ с оптической мощностью на выходе одномодового волоконного световода порядка 0.1 мВт. По сравнению с СЛД традиционной конструкции на основе «объёмной» двойной гетероструктуры с отдельным ограничением носителей получен значительный выигрыш по рабочим токам и потребляемой мощности.

Ключевые слова: суперлюминесцентный диод, многослойная квантоворазмерная гетероструктура, искривлённый активный канал.

1. Введение

Для многих типов волоконно-оптических датчиков, в частности волоконно-оптических гироскопов, использующих в качестве источника излучения модули на основе суперлюминесцентных диодов (СЛД), энергопотребление и габариты последних являются важнейшими техническими характеристиками. В работе [1] исследованы работоспособные в широком диапазоне температур без принудительной термостабилизации СЛД на основе «объёмной» (GaAl)As двойной гетероструктуры с отдельным ограничением носителей (РО ДГС). На базе этих исследований был разработан светоизлучающий модуль SLD-381-MiniBut-SM-NT, который в настоящее время выпускается серийно и находит широкое практическое применение.

С целью дальнейшего снижения энергопотребления подобных модулей нами были исследованы СЛД на основе многослойных квантоворазмерных гетероструктур (МКРС) в системе (GaAl)As. При использовании таких МКРС для изготовления лазерных диодов имеет место значительное снижение пороговых токов и повышение внешней квантовой эффективности по сравнению с лазерами на основе «объёмных» РО ДГС. Кроме того, для снижения рабочих токов, обеспечивающих необходимую выходную мощность (порядка 100 мкВт на выходе одномодового волоконного световода), вместо традиционной конструкции СЛД была использована конструкция с искривлённым активным каналом. Такая асимметричная конструкция СЛД, впервые использованная в [2], за счёт контролируемой «двухпроходности» излучения позволяет получить выигрыш по выходной мощности, а также в широких пределах управлять спектром выходного

излучения [3, 4]. В данной работе было использовано первое преимущество.

2. Экспериментальные образцы

Для изготовления СЛД была использована (GaAl)As-гетероструктура с отдельным ограничением, выращенная при пониженном давлении на установке МОС-гидридной эпитаксии «СИГМОС-130» с горизонтальным кварцевым реактором и вращающимся графитовым подложкодержателем. Температура роста составляла 770°C , давление в реакторе поддерживалось на уровне 60 Тор. В качестве источников элементов третьей группы были использованы триэтилгаллий и триметилалюминий. Источником элементов пятой группы был 100 %-ный арсин. Диэтилцинк и моносилан использовались в качестве источников легирующих примесей *p*- и *n*-типа соответственно.

Конфигурация МКРС схематически изображена на рис.1. Активная область содержала три квантовые ямы толщиной 8 нм, разделённые между собой двумя барьерами толщиной 4 нм. Толщина волноводного слоя составляла 0.19 мкм. Все указанные слои были нелегированными.

Боковое оптическое ограничение активного канала шириной $w = 4$ мкм было обеспечено гребневидным волноводом, сформированным методом ионного травления. Активный канал имел искривлённую форму (рис.2). Его ось составляла угол 7° по отношению к нормали к передней (выходной) грани СЛД и была перпендикулярна задней грани. В зависимости от местоположения скола, формирующего заднюю грань, длина активного канала L_a могла варьироваться. На переднюю грань наносилось многослойное диэлектрическое просветляющее покрытие, обеспечивающее эффективный коэффициент отражения $R_1 < 10^{-4}$. На заднюю торцевую грань наносилось широкополосное диэлектрическое зеркало с коэффициентом отражения R_2 . В ходе исследований коэффициент R_2 , а также длина активного канала L_a могли варьироваться с целью оптимизации выходных характеристик СЛД.

Д.С.Мамедов, В.В.Прохоров, С.Д.Якубович. ООО «Суперлюминесцентные диоды», Россия, 117454 Москва, В-454, п/я 70
А.А.Мармалюк, Д.Б.Никитин. ООО «Сигма плюс», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3

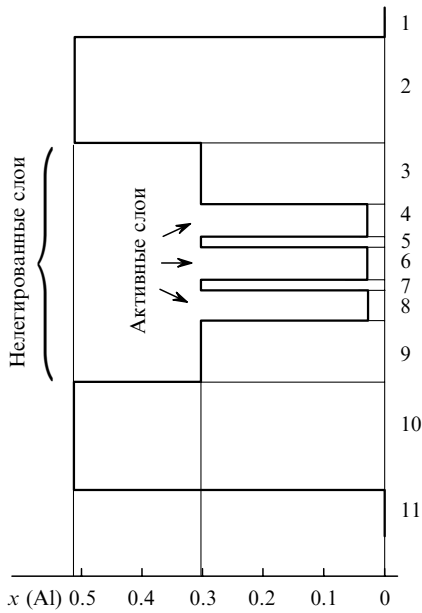


Рис.1. Трёхслойная квантоворазмерная $(Ga_{1-x}Al_x)As$ -гетероструктура:

1 – контактный слой p^+-GaAs ; 2 – p -эмиттер $(Ga_{0.49}Al_{0.51})As$; 3, 9 – волноводные слои $(Ga_{0.7}Al_{0.3})As$, $d = 80$ нм; 4, 6, 8 – активные слои $(Ga_xAl_{1-x})As$, $d = 8$ нм; 5, 7 – барьерные слои $(Ga_{0.7}Al_{0.3})As$, $d = 4$ нм; 10 – n -эмиттер $(Ga_{0.49}Al_{0.51})As$; 11 – подложка $n-GaAs$.

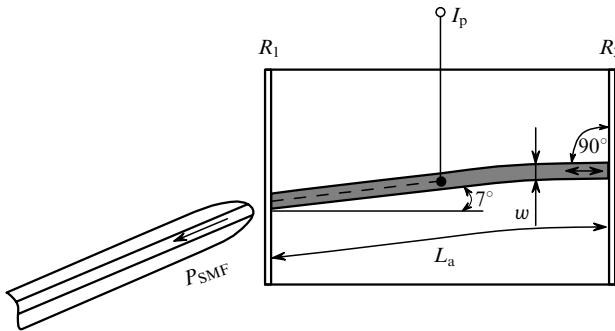


Рис.2. Конструкция двухпроходного СЛД с искривлённым активным каналом.

Как известно, важной технической характеристикой СЛД является глубина остаточной периодической модуляции спектра излучения модами резонатора Фабри–Перо. Эта величина зависит от однопроходного оптического усиления $(G_s = \exp\{[g(\lambda) - \alpha]L_a\})$, где $g(\lambda)$ – коэффициент оптического усиления, а α – коэффициент диссипативных потерь и от коэффициентов отражения излучения от торцевых граней как

$$m_s = \frac{2(R_1 R_2)^{1/2} G_s}{1 + R_1 R_2 G_s^2}.$$

В практически реализуемых диапазонах изменения G_s спектральная модуляция $m_s \sim (R_1 R_2)^{1/2} G_s$.

Особенностью рассматриваемой конструкции СЛД является асимметричное распределение интенсивностей право- и левобегущего световых потоков с максимумом у передней грани. Это позволяет получить выигрыш во внешней эффективности по сравнению с СЛД традицион-

ной конструкции. Однако из-за более высоких значений R_2 получение приемлемых значений $m_s \approx 1\%$ становится более сложной задачей с очень жёсткими требованиями к R_1 . В данной работе эти требования были облегчены, т. к. необходимый уровень выходной мощности достигался при достаточно низком оптическом усилении, при этом значительную долю выходного излучения составляло спонтанное излучение.

Ввиду того что исследуемые СЛД предназначались для работы в модулях с выводом излучения через одномодовый световод, оптимизация конструкции и рабочих режимов была проведена при измерениях на выходе световода (Corning Pure Mode HI 780) с торцевой волоконной микролинзой на входе (рис.2). Спектральные характеристики излучения измерялись с помощью анализатора спектра ANDO AQ 6317B с разрешением 0.01 нм. Задача оптимизации сводилась к определению конструкции СЛД, обеспечивающей выходную мощность $P_{SMF} > 0.1$ мВт при минимальном рабочем токе I_p в условиях реализации относительно широкого спектра ($\Delta\lambda > 10$ нм) и его достаточно низкой остаточной модуляции ($m_s < 3\%$), путём варьирования длины активного канала L_a и коэффициента отражения задней грани R_2 . При этом ширина спектра $\Delta\lambda$, определяющая степень когерентности СЛД, соответствовала ширине спектральной линии $S(\lambda)$ на половине высоты. Глубина спектральной модуляции вблизи центральной длины волны λ_c , соответствующей спектральному максимуму, определялась из следующего соотношения:

$$m_s = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}}.$$

Для решения указанной задачи были изготовлены СЛД с длинами активных каналов $L_a = 400, 600$ и 800 мкм. На их передние грани было нанесено просветляющее покрытие, а коэффициент отражения задней грани для различных партий образцов составлял $R_2 = 0.5\%, 15\%, 30\%$ и 90% . Для всех типов СЛД были измерены ватт-амперные характеристики излучения $P_{SMF}(I)$ и спектры излучения при $P_{SMF} = 0.12$ мВт. Оптимальные результаты были получены для образцов с $L_a = 600$ мкм. Типичные значения I_p , $\Delta\lambda$ и m_s при $P_{SMF} = 0.12$ мВт ($T = +25^\circ C$) в зависимости от R_2 показаны на рис.3. Из

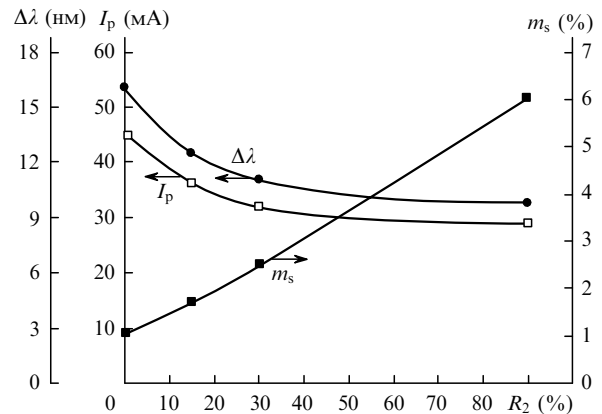


Рис.3. Зависимость рабочего тока I_p , полуширины спектра излучения $\Delta\lambda$ и глубины спектральной модуляции m_s от коэффициента отражения обратной грани СЛД R_2 при $P_{SMF} = 0.12$ мВт, $L_a = 600$ мкм, $T = +25^\circ C$.

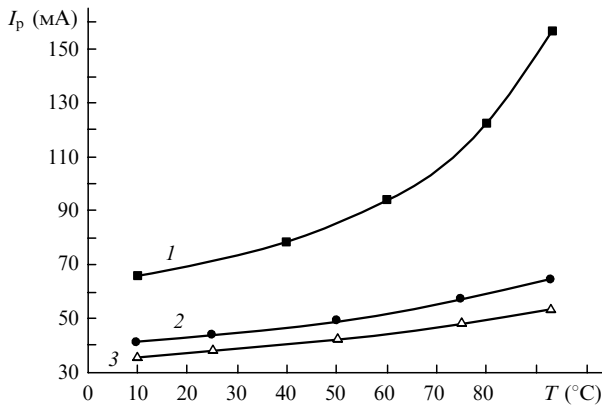


Рис.4. Температурные зависимости рабочих токов при $P_{SMF} = 0.12$ мВт и $L_a = 600$ мкм для СЛД традиционной конструкции на основе «объемной» РО ДГС (1) и МКРС (2), а также для двухпроходного СЛД с искривленным волноводом на основе МКРС (3).

рис.3 следует, что нанесение на заднюю грань зеркал с $R_2 > 30\%$ не имеет смысла, т.к. рабочий ток при этом практически не снижается, а глубина паразитной модуляции спектра заметно возрастает.

Дополнительный выигрыш по энергопотреблению у подобных СЛД достигается за счёт более слабой температурной зависимости излучательных характеристик МКРС по сравнению с «объемной» РО ДГС. На рис.4 изображены типичные температурные зависимости рабочих токов, обеспечивающих $P_{SMF} = 0.12$ мВт, для трёх типов СЛД с $L_a = 600$ мкм, а именно для СЛД традиционной «симметричной» конструкции на основе «объемной» РО ДГС [1], для СЛД той же конструкции на основе описан-

ной МКРС и для СЛД на основе МКРС с искривленным активным каналом ($R_2 = 30\%$).

Зависимости $I_p(T)$ наглядно демонстрируют значительный выигрыш в энергопотреблении для третьего типа СЛД. Особенно сильно это проявляется при высоких температурах окружающей среды. Так, при $+93^\circ\text{C}$ СЛД третьего типа имеют трёхкратный выигрыш по величине рабочих токов (а их энергопотребление снижено ещё на $20\% - 25\%$ из-за меньшего электрического напряжения на СЛД при меньших по сравнению с СЛД традиционной конструкции на основе «объемной» РО ДГС рабочих токах). Стоит отметить, что температура $T = +93^\circ\text{C}$ указывается как максимальная рабочая температура в технических требованиях на многие волоконно-оптические датчики. Для СЛД-модулей, эксплуатируемых в полевых условиях или в условиях «плотной упаковки» оптоэлектронных компонентов, такое снижение энергопотребления является большим преимуществом. Как видно из кривых, приведённых на рис.4, этот результат достигнут, в основном, за счёт использования МКРС.

Проблема надёжности подобных СЛД требует дополнительных исследований.

Авторы выражают благодарность А.Т.Семёнову за внимание к работе.

1. Мамедов Д.С., Прохоров В.В., Шраменко М.В., Якубович С.Д. *Квантовая электроника*, **32** (7), 593 (2002).
2. Semenov A.T., Shidlovski V.R., Safin S.A. *Electron. Lett.*, **29** (10), 854 (1993).
3. Андреева Е.В., Шраменко М.В., Якубович С.Д. *Квантовая электроника*, **32** (2), 112 (2002).
4. Мамедов Д.С., Прохоров В.В., Якубович С.Д. *Квантовая электроника*, **33** (6), 511 (2003).