

Линейки импульсных лазерных диодов спектрального диапазона 1.5–1.6 мкм на основе эпитаксиально-интегрированных гетероструктур AlGaInAs/InP

П.В.Горлачук, Ю.Л.Рябоштан, М.А.Ладугин, А.А.Падалица, А.А.Мармалюк, В.Д.Курносков, К.В.Курносков, О.В.Журавлева, В.И.Романцевич, Р.В.Чернов, А.В.Иванов, В.А.Симаков

Описаны линейки лазерных диодов на основе «двойных» эпитаксиально-интегрированных гетероструктур AlGaInAs/InP, излучающие в импульсном режиме на длине волны 1.55 мкм. Выходная оптическая мощность таких линеек в 1.8 раза превышает мощность линеек лазерных диодов на основе «одиночной» гетероструктуры. Приведены основные характеристики полученных лазерных излучателей.

Ключевые слова: МОС-гидридная эпитаксия, линейки лазерных диодов, эпитаксиальная интеграция.

1. Введение

Излучатели спектрального диапазона 1.5–1.6 мкм, работающие в импульсном режиме, имеют относительно более низкую выходную мощность [1–5], чем коротковолновые приборы с $\lambda = 0.7–1.1$ мкм, однако безопасность для зрения человека и прозрачность атмосферы делают такие излучатели привлекательными для многих применений. Одним из возможных путей повышения мощности лазерных излучателей является переход от единичных лазерных диодов (ЛД) к многоэлементным линейкам (ЛЛД) и решеткам (РЛД) [6–9]. Применение подобных излучателей может быть ограничено размерами излучающей области и контактным сопротивлением между отдельными элементами в решетке. Кроме того, сборка РЛД требует применения дополнительного припоя, что ухудшает теплоотвод, увеличивает трудоемкость изготовления и стоимость прибора, поэтому представляется перспективной интеграция излучающих областей в процессе эпитаксиального роста посредством туннельного перехода [8, 10–16]. Наибольшей трудностью при создании гетероструктур (ГС) такого рода является разработка и оптимизация их геометрии и достижение минимальных механических напряжений в многослойной структуре.

Важнейшее значение при изготовлении ГС для интегрированных ЛД имеет обеспечение вырожденного туннельного перехода между излучающими областями, поскольку туннельный ток через переход крайне чувствителен к уровню легирования как p-, так и n-типом примеси [13]. Ввиду высокой сложности изготовления подобных приборов разработка и получение эпитаксиально-интегрированных ГС и ЛД на их основе требует учета значительно

большого количества технологических факторов. Однако потенциальные преимущества эпитаксиально-интегрированных ЛЛД делают данный подход востребованным.

2. Описание ЛЛД

Гетероструктуры выращивались методом МОС-гидридной эпитаксии в горизонтальном кварцевом реакторе щелевого типа. Исследовалось два типа ГС – «одиночные» и «двойные». Последние состояли из двух идентичных ГС, соединенных туннельным переходом. Конструкция одиночной ГС базировалась на концепции расширенного асимметричного волновода [17].

Геометрия двойной ГС рассчитывалась таким образом, чтобы обеспечить минимальное проникновение основной моды в сильнолегированную область туннельного перехода. С этой целью применялся расширенный волновод AlGaInAs, а эмиттерные слои InP профильно легировались. Состав волноводного слоя подбирался специально для обеспечения высокого электронного ограничения носителей заряда в квантовых ямах.

Из полученных ГС изготавливались ЛЛД из пяти элементов. Длина лазерного резонатора составляла 2 мм, а ширина контакта каждого элемента – 100 мкм. На торцевые поверхности наносились отражающие покрытия с коэффициентами отражения 5% и 95%. ЛЛД монтировались на медный теплоотвод эпитаксиальной стороной вниз.

3. Экспериментальные результаты

Излучательные характеристики ЛЛД исследовались при длительности импульсов 100 нс и частоте их следования 5 кГц. Для сопоставления результатов была изготовлена типичная ЛЛД с одной излучающей областью аналогичной геометрии.

На рис.1 приведены вольт-амперные характеристики (ВАХ) для ЛЛД с одной и двумя излучающими областями. Напряжение отсечки для данных ЛЛД различалось в 2.1 раза, что указывает на низкое последовательное сопротивление туннельного перехода. Типичные напряжения отсечки для одиночных и интегрированных ЛЛД составили 0.8 и 1.67 В соответственно. Данное поведение

П.В.Горлачук, Ю.Л.Рябоштан, М.А.Ладугин, А.А.Падалица, А.А.Мармалюк, В.Д.Курносков, К.В.Курносков, О.В.Журавлева, В.И.Романцевич, Р.В.Чернов, А.В.Иванов, В.А.Симаков. ОАО «НИИ “Полус” им. М.Ф.Степана», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3, корп.1; e-mail: gorlachuk@bk.ru, yu.ryaboshtan@splus.ru, maximladugin@mail.ru, A.Padalitsa@splus.ru, al-marm@mail.ru, mail@dilas.ru

Поступила в редакцию 17 июля 2013 г., после доработки – 26 июля 2013 г.

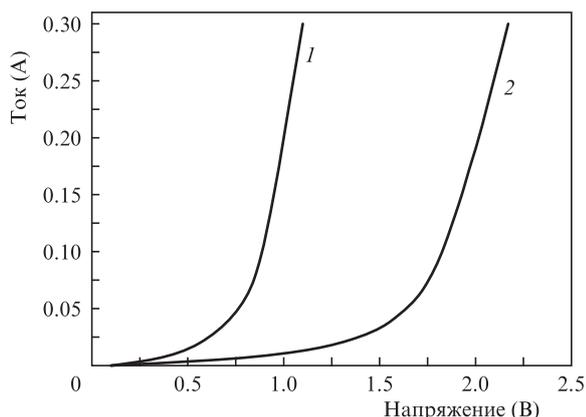


Рис.1. Вольт-амперные характеристики для линеек с одной (1) и двумя (2) областями.

ВАХ характерно для ЛД с несколькими излучающими областями и наблюдалось в аналогичных приборах более коротковолнового диапазона [8, 12, 16].

Ватт-амперные характеристики (ВтАХ) исследованных ЛЛД представлены на рис.2. Порог генерации для типичных одиночных ЛЛД составил 3.8–4.4 А, а для двойных он был равен 5–7 А. Увеличение порогового тока для двойной ЛЛД может быть обусловлено различиями в формировании активных излучающих областей. Большая толщина двойной ГС в системе AlGaInAs–InP может приводить к накоплению в процессе роста упругих напряжений, модифицирующих номинальный профиль квантовых ям и искажающих их зонную структуру. Таким образом, последовательно сформированные активные области могут различаться, что и приводит к наблюдаемому повышению порога лазерной генерации.

Выше порога генерации дифференциальная эффективность интегрированных ЛЛД была в 1.8 раза больше, чем для одиночных ЛЛД. Типичный наклон характеристики для одиночных ЛЛД составил 0.36 Вт/А, а для двойных – 0.69 Вт/А. Максимальные достигнутые мощности были равны 20 Вт для одиночных и 36 Вт для двойных ЛЛД при токе накачки 60 А. При этом тепловой загиб ВтАХ в исследованном диапазоне токов накачки не наблюдался, что позволяет надеяться на дальнейшее повышение выходной мощности.

На рис.3 показан спектр излучения ЛЛД на основе двойной ГС. Ширина спектра на половине высоты составила 7–8 нм, что несколько больше, чем у типичной одиночной ЛЛД (4–6 нм). Одной из возможных причин на-

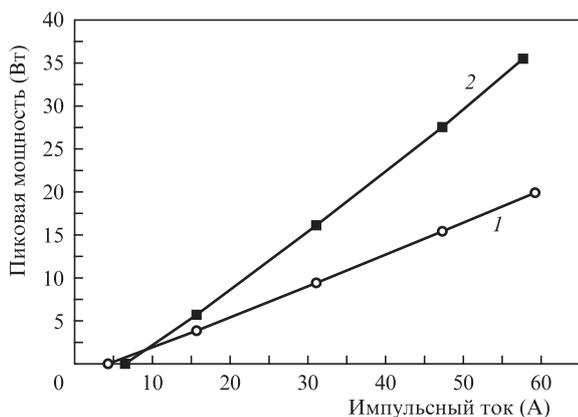


Рис.2. Ватт-амперные характеристики одиночной (1) и интегрированной (2) ЛЛД.

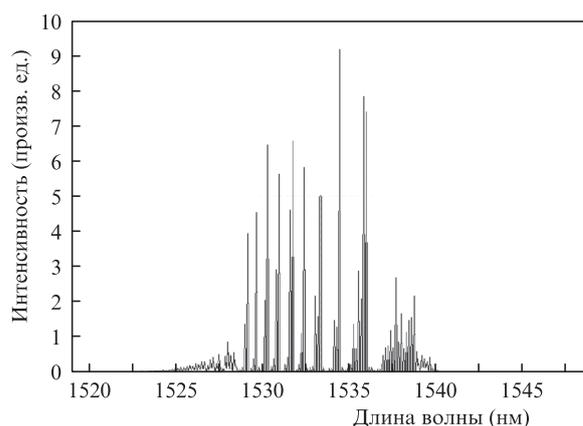


Рис.3. Спектр излучения ЛЛД на основе интегрированной ГС.

блюдаемого уширения спектра может быть высказанное выше предположение о различии геометрий двух излучающих областей.

Таким образом, получены двойные эпитаксиально-интегрированные ГС и ЛЛД на их основе. Импульсная мощность двойных ЛЛД повысилась с ~20 Вт (типичная мощность одиночной ЛЛД) до 36 Вт при токе накачки 60 А. Эпитаксиальная интеграция излучателей спектрального диапазона 1.5–1.6 мкм является альтернативой решеткам лазерных диодов, обладает рядом преимуществ и позволяет достичь высоких выходных характеристик при ограниченных размерах излучающей области.

1. Лившиц Д.А., Егоров А.Ю., Кочнев И.В., Капитонов В.А., Лантратов В.М., Леденцов Н.Н. и др. *ФТП*, **35** (3), 380 (2001).
2. Булаев П.В., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Никитин Д.Б., Петровский А.В. и др. *Квантовая электроника*, **32** (3), 213 (2002).
3. Булаев П.В., Капитонов В.А., Лютецкий А.В., Мармалюк А.А., Никитин Д.Б., Николаев Д.Н. и др. *ФТП*, **36** (9), 1144 (2002).
4. Винокуров Д.А., Зорина С.А., Капитонов В.А., Мурашова А.В., Николаев Д.Н., Станкевич А.Л. и др. *ФТП*, **39** (3), 388 (2005).
5. Ладугин М.А., Лютецкий А.В., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Пихтин Н.А. и др. *ФТП*, **44** (10), 1417 (2010).
6. Дегтярева Н.С., Кондаков С.А., Микаелян Г.Т., Горлачук П.В., Ладугин М.А., Мармалюк А.А. и др. *Квантовая электроника*, **43** (6), 509 (2013).
7. Botez D., Scifres D.R. *Diode Laser Arrays* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1994, p.448).
8. Мармалюк А.А., Давыдова Е.И., Зверков М.В., Коняев В.П., Кричевский В.В., Ладугин М.А., Лебедева Е.И. и др. *ФТП*, **45** (4), 528 (2011).
9. Ладугин М.А., Коваль Ю.П., Мармалюк А.А., Петровский В.А. и др. *Квантовая электроника*, **43** (5), 407 (2013).
10. Van der Ziel J.P., Tsang W.T. *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 499 (1982).
11. Kim J.K., Nakagawa S., Hall E., Coldren L.A. *Appl. Phys. Lett.*, **77** (20), 3137 (2000).
12. Давыдова Е.И., Коняев В.П., Ладугин М.А., Лебедева Е.И., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Петров С.В., Сапожников С.М. и др. *Квантовая электроника*, **40** (8), 682 (2010).
13. Mehta M., Fezzell D., Buell D.A., Jackson A.W., Coldren L.A., Bowers J.E. *IEEE J. Quantum Electron.*, **42** (7), 675 (2006).
14. Boucher J.-F., Vilokinen V., Rainbow P., Uusimaa P., Lyutikainen J., Ranta S. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **7480**, 74800K (2009).
15. Garcia Ch., Rosencher E., Collot Ph., Laurent N., Guyaux J.L., Vinter B., Nagle J. *Appl. Phys. Lett.*, **71**, 3752 (1997).
16. Давыдова Е.И., Зверков М.В., Коняев В.П., Кричевский В.В., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Падалица А.А. и др. *Квантовая электроника*, **39** (8), 723 (2009).
17. Лютецкий А.В., Борщев К.С., Бондарев А.Д., Налет Т.А., Пихтин Н.А., Слипченко С.О., Фетисова Н.В., Хомылев М.А., Мармалюк А.А., Рябоштан Ю.Л. и др. *ФТП*, **41** (7), 883 (2007).