

Мощные импульсные лазерные излучатели спектрального диапазона 850–870 нм на основе гетероструктур с узкими и широкими волноводами

М.А.Ладугин, Ю.П.Коваль, А.А.Мармалюк, В.А.Петровский,
Т.А.Багаев, А.Ю.Андреев, А.А.Падалица, В.А.Симаков

Приведены результаты исследования мощностных и спектральных характеристик импульсных решеток лазерных диодов спектрального диапазона 850–870 нм, изготовленных на основе гетероструктур двух различных типов – с узкими и широкими волноводами. Установлено, что в диапазоне токов накачки 10–50 А ватт-амперные характеристики ($ВтАХ$) обеих типов лазерных решеток были линейными, а снижение наклона $ВтАХ$ наблюдалось при токах выше 80 А. Отмечено, что падение дифференциальной эффективности более заметно у лазерных решеток, изготовленных на основе гетероструктур с широким волноводом.

Ключевые слова: решетка лазерных диодов, МОС-гидридная эпитаксия, гетероструктура, тепловыделение.

1. Введение

Полупроводниковые лазерные излучатели спектрального диапазона 850–870 нм находят широкое применение в аппаратуре различного назначения, в том числе в приборах дистанционного контроля за движением транспортных средств [1]. Последние, помимо надежной работы в различных климатических условиях, требуют высоких энергетических характеристик лазерных излучателей – средняя мощность импульса излучения должна быть не менее 500 Вт. Получение требуемой импульсной мощности возможно путем суммирования мощностей отдельных лазерных диодов (ЛД) и их линеек, т.е. использования многоэлементных компактных лазерных решеток [2]. При этом желательно, чтобы размеры тела свечения наборного излучателя были минимальными, поэтому ЛД в излучателе должны располагаться равномерно с наименьшими зазорами между ними. Однако из-за плотного расположения базовых излучательных элементов – лазерных диодов – в таких решетках обеспечение требуемых параметров по мощности и длине волны генерации осложняется большим тепловыделением.

В настоящей работе приведены результаты исследования в различных режимах токовой накачки перегрева решеток лазерных диодов (РЛД) спектрального диапазона 850–870 нм, изготовленных на основе квантоворазмерных гетероструктур (ГС) InGaAs/AlGaAs/GaAs.

2. Экспериментальная часть

Квантоворазмерные ГС InGaAs/AlGaAs/GaAs были выращены методом МОС-гидридной эпитаксии при по-

ниженном давлении в кварцевом реакторе горизонтального типа на установке «СИГМОС-130» с вращающимся графитовым подложкодержателем. Триэтилгаллий, триметилиндий и триметилалюминий использовались в качестве источников элементов третьей группы, а 100%-ный арсин – в качестве источника элементов пятой группы. Источником легирующей примеси n-типа служил силан, а р-типа – тетрахлорид углерода и диэтилцинк. В качестве газа-носителя использовался водород с точкой росы $-100 \pm -110^\circ\text{C}$.

Выбранные режимы выращивания эпитаксиальных слоев обеспечивали получение материала с высоким структурным совершенством и низкой фоновой концентрацией примеси, что необходимо для создания на его основе приборов с повышенными выходными параметрами [3]. Дополнительной мерой по снижению внутренних потерь для ГС было профильное легирование эмиттерных слоев [4].

Конструкции ГС, обеспечивающих расходимость излучения 20° в вертикальном направлении, были двух типов – с узким и широким волноводом (рис.1).

На основе выращенных ГС двух типов были изготовлены лазерные излучатели (решетки) 1×1 мм с длиной резонатора 1000–1500 мкм и коэффициентами отражения передних и задних зеркал 3%–7% и 95% соответственно. Частота повторения импульсов тока накачки при измерении выходных характеристик достигала 10 кГц, а длительность – 250 нс.

3. Результаты и выводы

Одним из необходимых требований, предъявляемых к лазерным излучателям во многих практических применениях, помимо получения большой выходной мощности, является малая расходимость излучения. Так как в большинстве случаев угловая апертура собирающих излучение объективов составляет $\sim 30^\circ$, предпочтительнее использовать такие конструкции лазерных ГС, которые обеспечивают угловую расходимость $\sim 20^\circ$, что позволяет сконцентрировать большую мощность в заданном угле.

Расчеты показывают, что заданную угловую расходимость могут обеспечить две геометрии ГС раздельного

М.А.Ладугин, Ю.П.Коваль, А.А.Мармалюк, В.А.Петровский, Т.А.Багаев, А.Ю.Андреев, А.А.Падалица, В.А.Симаков. ОАО «НИИ «Полус» им. М.Ф.Стедьмаха», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3, корп.1; e-mail: M.Ladugin@splus.ru, ant@splus.ru, marm@splus.ru

Поступила в редакцию 22 февраля 2013 г., после доработки – 9 апреля 2013 г.

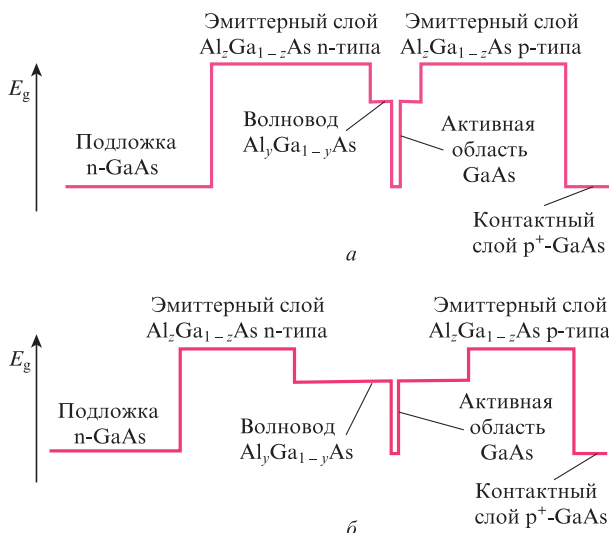


Рис.1. Схематическое изображение зонной диаграммы ГС раздельного оптического и электронного ограничения с узким (а) и широким (б) волноводом.

оптического и электронного ограничения, различающиеся только шириной волноведущей области, – ГС с узкими (0.2–0.3 мкм) волноводами (типа А) и ГС с широкими (1.5–1.7 мкм) волноводами (типа Б) [5].

Концепция расширенного волновода широко известна в литературе, такие волноводы применялись в различных спектральных диапазонах (от 808 до 1060 нм). Их основным преимуществом, позволяющим достигнуть высоких мощностей излучения, являются сверхнизкие внутренние оптические потери [6, 7].

Сравнение лазерных излучателей на основе ГС типов А и Б показывает, что первые имеют заметно более высокие оптические потери, но при этом характеризуются более низкими пороговыми токами и малым последовательным электрическим сопротивлением (примерно на 10%–20% меньше).

Мы сравнили выходные характеристики наборных лазерных излучателей на основе обоих типов ГС.

Наборным элементом РЛД является линейка ЛД, поэтому на первом этапе исследовались мощностные и электрические характеристики лазерных линеек.

Выходные характеристики линеек ЛД длиной 1 мм (с числом одиночных диодов в линейке от 6 до 9), изготовленных на основе ГС обоих типов, оказались практически идентичными, ВтАХ не различались ни при малых (5–20 А), ни при больших (~80 А) токах. Типичные ВтАХ показаны на рис.2. Пороговый ток ЛД на основе узкого волновода составил 5.5–6 А, а для ЛД на основе широкого волновода он был равен 7–7.5 А. Вольт-амперные характеристики линеек на основе ГС обоих типов оказались также близкими.

Заметные различия выходных параметров показали РЛД с числом лазерных линеек в них от 10 до 14.

В диапазоне токов накачки 10–40 А ВтАХ лазерных решеток на основе ГС обоих типов были линейными. При токе накачки 40 А, длительности импульса тока накачки 100 нс и частоте повторения 5 кГц снижения дифференциальной эффективности η относительно начальной не наблюдалось (рис.3). Однако при увеличении частоты повторения до 10 кГц или при длительности импульса до 250 нс (при токе 40 А) имело место снижение мощности на 10–15 Вт. Дальнейшее увеличение тока (рис.3) приво-

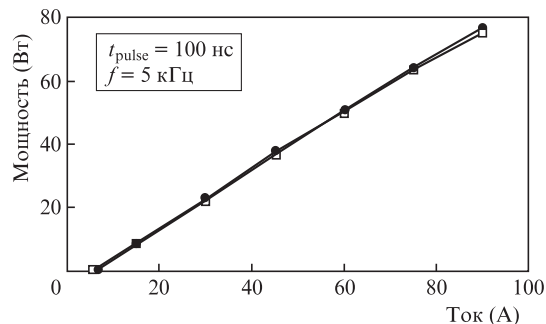


Рис.2. ВтАХ лазерных линеек, изготовленных на основе ГС типов А (●) и Б (□).

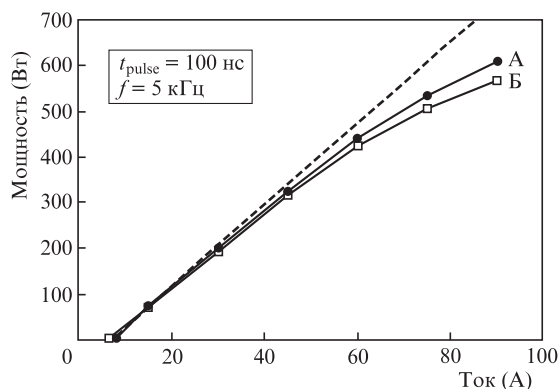


Рис.3. ВтАХ лазерных решеток на основе ГС типов А и Б.

дило к более заметному снижению η , спектр излучения уширялся, а его максимум смещался в длинноволновую сторону, и при токе свыше 80 А «падение» мощности достигало 140 Вт.

Все это, несомненно, говорит о тепловом разогреве РЛД. Основными причинами, определяющими снижение дифференциальной эффективности, являются рост внутренних оптических потерь, порогового тока и различие в электрическом и тепловом сопротивлении ГС с узкими и широкими волноводами [8, 9].

Приведенные на рис.4 спектральные характеристики позволяют оценить величину теплового разогрева. Так, ширина спектра на полувысоте для РЛД на основе ГС типа А при токе 24 А составляет всего 2 нм, а при токе 80 А – уже 3 нм. Максимум спектра при этом смещается на 5–6 нм, что по известной зависимости позволяет оценить увеличение температуры ЛД на 10–15 К [10].

При тех же режимах накачки ширина спектра на полувысоте для РЛД на основе ГС типа Б увеличивается при 80 А до 6–7 нм, а максимум спектра смещается еще сильнее (на 8–10 нм), что соответствует перегреву ЛД на 30 К.

На наш взгляд, дополнительными причинами, определяющими отмеченные различия в выходных характеристиках сравниваемых излучателей, могут быть разные температурные чувствительности порогового тока (характеризуется параметром T_0) и внутренней дифференциальной эффективности (характеризуется параметром T_1) для структур с узким и широким волноводом.

Таким образом, полученные в работе результаты позволяют сделать вывод, что решетки, изготовленные на основе ГС с узким волноводом, более предпочтительны для создания компактных излучателей с повышенной мощностью и яркостью, т. к. имеют меньшее тепловыделение.

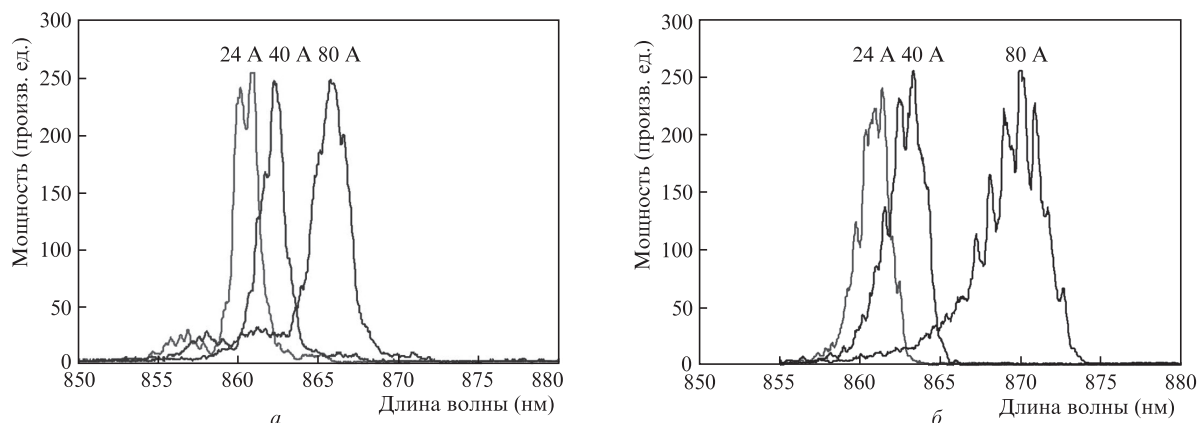


Рис.4. Спектры излучения РЛД на основе ГС InGaAs/AlGaAs/GaAs типов А (а) и Б (б) при различных амплитудах импульсов тока накачки.

- Behringer M., Philippens M., Teich W., Schmitt A., Morgott S., Heerlein J., Herrmann G., Luft J., Seibold G., Biesenbach J., Brand T., Marchiano M. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **4993**, 68 (2003).
- Botez D., Scifres D.R. *Diode laser arrays* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994).
- Stringfellow G.B. *Organometallic vapor-phase epitaxy: theory and practice* (San Diego: Academic Press, 1999).
- Акчурин Р.Х., Андреев А.Ю., Булаев П.В., Залевский И.Д., Мармалюк А.А., Никитин Д.Б., Падалица А.А. *Неорганические материалы*, **40**, 787 (2004).
- Булаев П.Б., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Никитин Д.Б., Петровский А.В., Залевский И.Д., Коняев В.П., Оськин В.В., Зверков М.В., Симаков В.А., Зверев Г.М. *Квантовая электроника*, **32** (3), 213 (2002).
- Винокуров Д.А., Зорина С.А., Капитонов В.А., Лешко А.Ю., Лютецкий А.В., Налет Т.А., Николаев Д.Н., Пихтин Н.А., Рудова Н.А., Слипченко С.О., Соколова З.Н., Станкевич А.Л., Фетисова Н.В., Хомылев М.А. и др. *ФТП*, **41**, 1247 (2007).
- Андреев А.Ю., Лешко А.Ю., Лютецкий А.В., Мармалюк А.А., Налет Т.А., Падалица А.А., Пихтин Н.А., Сабитов Д.Р., Симаков В.А. и др. *ФТП*, **40**, 628 (2006).
- Карон Ели (Ed.) *Semiconductor lasers: optics and photonics* (San Diego: Academic Press, 1999).
- Мармалюк А.А., Ладугин М.А., Андреев А.Ю., Телегин К.Ю., Яроцкая И.В., Мешков А.С., Коняев В.П., Сапожников С.М., Лебедева Е.И., Симаков В.А. *Квантовая электроника*, **43** (2013) (в печати).
- Vurgaftman I., Meyer J.R., Ram-Mohan L.R. *J. Appl. Phys.*, **89**, 5815 (2001).