

# Компактная решетка лазерных диодов на основе эпитаксиально интегрированных гетероструктур AlGaAs/GaAs

М.А.Ладугин, Т.А.Багаев, А.А.Мармалюк, Ю.П.Коваль,  
В.П.Коняев, С.М.Сапожников, А.В.Лобинцов, В.А.Симаков

*Представлены основные результаты разработки компактных мини-решеток лазерных диодов, работающих в импульсном режиме накачки на длине волны 875 нм, а также исследованы их приборные характеристики. Отличительной особенностью данных излучателей, помимо высокой выходной мощности ( $\sim 1.5$  кВт), является узкая диаграмма направленности (угловая расходимость  $21^\circ \times 8^\circ$ ) и малая площадь излучения (менее  $1$  мм<sup>2</sup>). Использование для создания решеток лазерных диодов последовательно интегрированных гетероструктур AlGaAs/GaAs с тремя излучающими областями, выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии, позволило улучшить их рабочие параметры.*

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

## 1. Введение

Мощные импульсные полупроводниковые лазерные источники, излучающие в диапазоне 850–900 нм, представляют в настоящее время большой практический интерес благодаря их использованию в дальнометрии и локации, в беспроводной связи в свободном пространстве, а также в современных устройствах дистанционного управления движением транспортных средств. В большинстве указанных применений от лазерного источника требуется одновременно высокая выходная мощность, малая угловая расходимость и большая частота следования импульсов. Зачастую импульсная мощность излучения должна превышать 1 кВт [1]. При этом желательно, чтобы тело свечения было как можно меньше, а диаграмма направленности обеспечивала малую угловую расходимость не только по «медленной», но и по «быстрой» оси, т. к. в целом это позволяет увеличить яркость излучения и снизить требования к оптической системе управления лазерным пучком.

В настоящей работе, которая является продолжением исследований, опубликованных в [2], приведены результаты создания компактных решеток лазерных диодов (РЛД), изготовленных на основе эпитаксиально интегрированных гетероструктур (ГС) AlGaAs/GaAs с тремя излучающими областями, а также изучены их характеристики, удовлетворяющие вышеуказанным требованиям.

## 2. Эксперимент и результаты измерений

Импульсную оптическую мощность более 1 кВт можно получить за счет суммирования мощностей отдельных лазерных диодов (ЛД), изготавливая одномерные линейки и двумерные решетки лазерных диодов [3]. Кроме

того, многоэлементные лазерные решетки можно создать и при помощи хорошо себя зарекомендовавших интегрированных ЛД с несколькими излучающими областями, разработанных ранее для спектральных диапазонов 800–1100 нм и 1500–2000 нм [4–6].

Поскольку помимо получения большой выходной мощности желательно обеспечить угловую расходимость  $\sim 20^\circ$  по «быстрой» оси (в перпендикулярном направлении относительно слоев), была выбрана конструкция гетероструктуры с узким волноводом. Она, как было показано в [2, 7], обладает повышенной температурной стабильностью по сравнению с конструкциями структур с широким волноводом, что особенно важно при высоких токах накачки. В дополнение к этому ЛД на основе ГС с узким волноводом имели пороговый ток примерно на 25% меньше, чем таковые на основе ГС с широким волноводом.

Для реализации данной задачи были получены квантоворазмерные гетероструктуры GaAs/AlGaAs/GaAs с тремя излучающими областями для последующего изготовления на их основе компактных РЛД. Эпитаксиально интегрированные структуры выращивались методом МОС-гидридной эпитаксии аналогично [4]. Режимы выращивания эпитаксиальных слоев выбирались так, чтобы получить материал с улучшенными люминесцентными характеристиками, высоким структурным совершенством и низкой фоновой концентрацией примесей, что необходимо для создания на их основе приборов с высокими выходными параметрами.

Предварительные расчеты показали, что использование узких волноводов в ГС по сравнению с использованием широких волноводов позволяет сократить общую толщину ГС такой конструкции с 20 до 15 мкм, что существенно облегчает весь технологический цикл создания активного лазерного элемента. Изображение скола и условное изображение конструкции выращенной эпитаксиально интегрированной ГС показано на рис. 1.

На основе выращенных ГС с тремя излучающими областями были изготовлены лазерные решетки с различным количеством активных элементов и общей площадью излучения около  $1$  мм<sup>2</sup> (рис. 2). Длина резонатора

М.А.Ладугин, Т.А.Багаев, А.А.Мармалюк, Ю.П.Коваль, В.П.Коняев, С.М.Сапожников, А.В.Лобинцов, В.А.Симаков. АО «НИИ "Полюс" им. М.Ф. Стельмаха», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3, корп. 1; e-mail: maximladugin@mail.ru

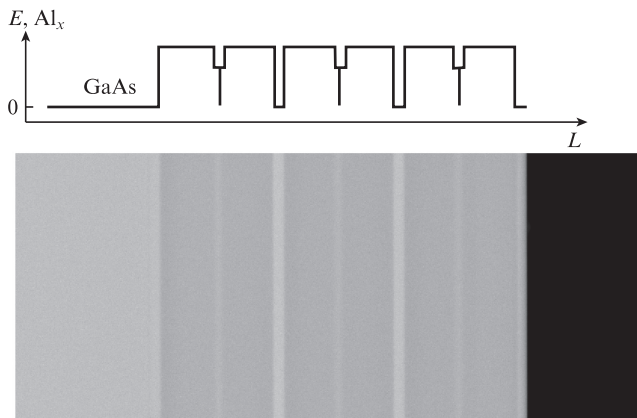


Рис.1. Изображение скола образца в сканирующем электронном микроскопе и условное изображение конструкции эпитаксиально интегрированной ГС.

ЛД, а также коэффициенты отражения передних и задних зеркал составляли 1500 мкм и 5% и 95% соответственно. Частота следования импульсов тока накачки при измерении выходных характеристик варьировалась от 1 до 10 кГц, а длительность импульсов тока – от 100 до 200 нс.

Известно, что из-за плотного расположения лазерных элементов в таких РЛД обеспечение требуемых параметров по мощности и длине волны генерации может осложняться большим тепловыделением.

Установлено, что в диапазоне токов накачки 10–40 А при длительности импульсов 100 нс и частоте следования 1 кГц ватт-амперная характеристика (ВтАХ) лазерной решетки, показанная на рис.3, имела практически линейный наклон: ~23 Вт/А. Однако при токе накачки 50 А, которому соответствует мощность ~1 кВт, началось заметное отклонение ВтАХ от линейности. С увеличением токов накачки до 100 А наблюдалось существенное (300–400 Вт) снижение мощности относительно изначально линейной ВтАХ, также имело место длинноволновое смещение максимума и уширение спектров излучения. При увеличении частоты следования до 6 кГц или длительности импульса до 200 нс мощность излучения снижалась на 15%.

Все это свидетельствует о тепловом саморазогреве РЛД, состоящей из множества отдельных излучающих лазерных каналов. Основными причинами, определяющими уменьшение наклона ВтАХ, являются снижение

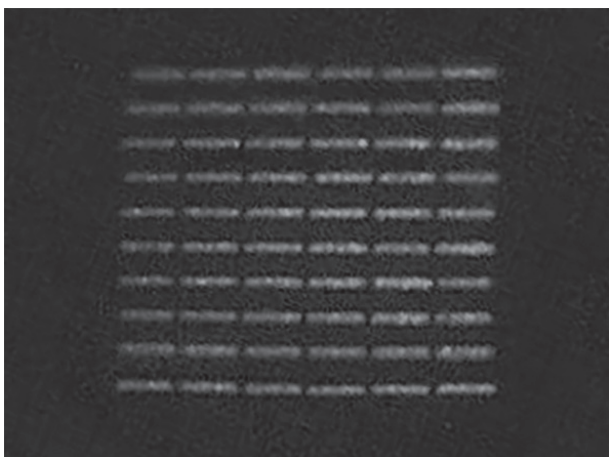


Рис.2. Типичная картина излучения РЛД в ближней зоне.

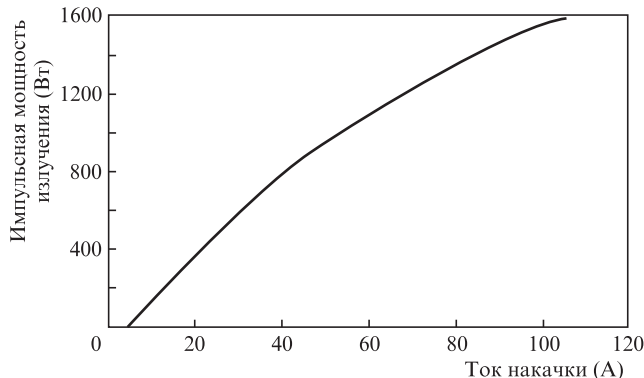


Рис.3. ВтАХ лазерных решеток на основе эпитаксиально интегрированной лазерной ГС AlGaAs/GaAs.

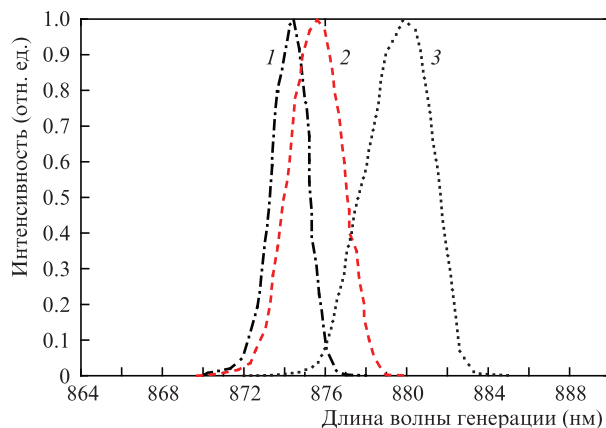


Рис.4. Спектры излучения РЛД на основе ГС GaAs/AlGaAs/GaAs при амплитудах импульсов тока накачки 10 (1), 50 (2), 100 А (3).

квантовой эффективности, рост порогового тока накачки и внутренних оптических потерь [8].

На спектрах излучения, снятых при различных токах накачки (рис.4), хорошо видно, что максимум длины волны генерации смещается примерно на 6 нм при изменении амплитуды импульса от 10 до 100 А. Это, согласно известной зависимости ширины запрещенной зоны ЛД от температуры [9], соответствует увеличению температуры РЛД приблизительно на 15–20 °С.

Ширина спектра на полувысоте увеличивается при этом на 1–1.5 нм, тем не менее она остается достаточно узкой и приемлемой для большинства практических применений.

Дополнительно в работе были проведены ресурсные исследования параметров РЛД при комнатной температуре и амплитуде импульсов тока накачки (5 кГц, 100 нс), соответствующей мощности излучения 1 кВт. После излучения  $4 \times 10^9$  импульсов снижение выходной мощности относительно начального значения было не более 8%.

### 3. Заключение

Таким образом, показана возможность создания надежных компактных лазерных источников на основе полупроводниковых гетероструктур AlGaAs/GaAs, излучающих в диапазоне 870–890 нм. Высокие мощностные характеристики при малой площади излучения порядка 1 мм<sup>2</sup> ( $P_p > 1.5$  кВт при токе накачки 100 А) можно получить только с использованием структур с несколькими излучающими областями, выращенными последователь-

но друг за другом в едином технологическом процессе методом МОС-гидридной эпитаксии. Несмотря на наличие теплового разогрева РЛД при высоких токах накачки, спектр излучения отличался малой шириной ( $\sim 3$  нм), а расходимость по «быстрой» оси составляла всего  $21^\circ$ .

1. Diehl R. *High-power Diode Lasers. Fundamentals, Technology, Applications* (Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2000).
2. Ладугин М.А., Коваль Ю.П., Мармалюк А.А., Петровский В.А., Багаев Т.А., Андреев А.Ю., Падалица А.А., Симаков В.А. *Квантовая электроника*, **43**, 407 (2013) [*Quantum Electron.*, **43**, 407 (2013)].
3. Bachmann F., Loosen P., Poprawe R. *High Power Diode Lasers Technology and Applications* (New York: Springer Science Business Media, LLC, 2007).
4. Мармалюк А.А., Давыдова Е.И., Зверков М.В., Коняев В.П., Кричевский В.В., Ладугин М.А., Лебедева Е.И., Петров С.В., Сапожников С.М., Симаков В.А., Успенский М.Б., Яроцкая И.В., Пихтин Н.А., Тарасов И.С. *ФТП*, **45**, 528 (2011).
5. Винокуров Д.А., Коняев В.П., Ладугин М.А., Лютецкий А.В., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Петрунов А.Н., Пихтин Н.А., Симаков В.А., Слипченко С.О., Сухарев А.В., Фетисова Н.В., Шамахов В.В., Тарасов И.С. *ФТП*, **44** (2), 251 (2010).
6. Yang R.Q., Qiu Y. *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 599 (2003).
7. 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**, 895 (2013) [*Quantum Electron.*, **43**, 895 (2013)].
8. Ладугин М.А., Лютецкий А.В., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Пихтин Н.А., Подоскин А.А., Рудова Н.А., Слипченко С.О., Шашкин И.С., Бондарев А.Д., Тарасов И.С. *ФТП*, **44** (10), 1417 (2010).
9. Vurgaftman I., Meyer J.R., Ram-Mohan L.R. *J. Appl. Phys.*, **89**, 5815 (2001).