

Линейки лазерных диодов с длиной волны излучения $\lambda = 808$ нм на основе двойных эпитаксиально-интегрированных гетероструктур

Е.И.Давыдова, В.П.Коняев, М.А.Ладугин, Е.И.Лебедева, А.А.Мармалюк, А.А.Падалица, С.В.Петров, С.М.Сапожников, В.А.Симаков, М.Б.Успенский, И.В.Яроцкая

Созданы и исследованы линейки одиночных лазерных диодов (ЛД) и двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs, излучающих в спектральной области 808 нм. Наклон ватт-амперной характеристики для линейки двойных ЛД составил 2.18 Вт/А, что практически в два раза больше, чем у линейки одиночных ЛД (1.16 Вт/А). При этом имеет место кратное увеличение падения напряжения на структуре. Выходная мощность линеек ЛД длиной 5 мм на основе двойной эпитаксиально-интегрированной гетероструктуры в квазинепрерывном режиме накачки составила 100 Вт при токе накачки 60 А, что в 1.8 раза превышает мощность, полученную при тех же условиях от линейки одиночных ЛД.

Ключевые слова: линейки лазерных диодов, двойные эпитаксиально-интегрированные гетероструктуры, источники лазерного излучения.

1. Введение

Линейки лазерных диодов (ЛД) широко используются в качестве источников лазерного излучения в системах накачки твердотельных лазеров [1, 2]. К диодным источникам накачки предъявляются высокие требования по мощности и эффективности. Как правило, для создания мощных источников лазерного излучения используют вертикальную интеграцию линеек ЛД, образуя решетки ЛД [3, 4].

Монолитная интеграция лазерных гетероструктур (ГС) в одном процессе роста хорошо зарекомендовала себя как перспективный способ вертикального соединения ЛД [5, 6]. По сравнению с традиционным способом соединения ЛД через припойные контакты, она обладает рядом преимуществ, таких как низкие дополнительные контактные сопротивления и строгая параллельность излучаемых пучков. Благодаря близкому расположению излучающих областей такой подход позволяет значительно уменьшить размеры прибора при сохранении мощностных характеристик.

На рис.1 схематично изображены два последовательно соединенных через припойный контакт ЛД и два эпитаксиально-интегрированных ЛД. Видно, что типичное расстояние между излучающими областями ЛД, соединенных через припойный контакт, достигает 100–150 мкм, тогда как в эпитаксиально-интегрированном ЛД это расстояние составляет всего 3–5 мкм. Таким образом, использование эпитаксиальной интеграции позволяет создавать источники лазерного излучения с увеличенной плотностью оптической мощности. В наших работах

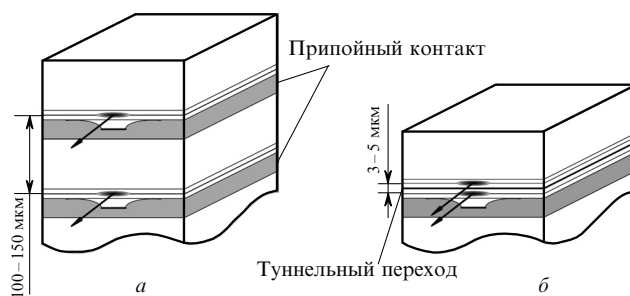


Рис.1. Схематическое изображение двух последовательно соединенных ЛД (а) и двух эпитаксиально-интегрированных ЛД (б).

[7, 8] сообщалось об успешной реализации такого подхода для создания ЛД, излучающих на длине волны $\lambda = 900$ нм.

В связи с перспективностью использования спектральной области 808 нм в системах накачки твердотельных YAG: Nd³⁺-лазеров большой научный и практический интерес представляет создание двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД и линеек на их основе, излучающих в квазинепрерывном режиме в этой области спектра. Целью настоящей работы является создание линеек двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД с длиной волны излучения 808 нм и сравнение их характеристик с традиционными линейками ЛД на основе ГС с одной излучающей областью.

2. Эксперимент

Эпитаксиальные ГС для интегрированных ЛД на основе AlGaAs/GaAs были выращены методом МОС-гидридной эпитаксии. Подробности организации процесса роста изложены в [7, 8]. Геометрия активной области ГС была выбрана для осуществления лазерной генерации в спектральной области 808 нм. Интеграция ГС осуществлялась с использованием туннельных переходов p⁺–GaAs/n⁺–GaAs. Для предотвращения поглоще-

Е.И.Давыдова, В.П.Коняев, М.А.Ладугин, Е.И.Лебедева, А.А.Мармалюк, А.А.Падалица, С.В.Петров, С.М.Сапожников, В.А.Симаков, М.Б.Успенский, И.В.Яроцкая. ФГУП «НИИ "Полос" им. М.Ф.Стельмаха», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3; e-mail: A.Marmalyuk@siplus.ru

Поступила в редакцию 12 мая 2010 г.

ния излучения в туннельном переходе эмиттерные слои имели толщину 1.5 мкм.

Для измерения излучательных, мощностных и электрических характеристик были изготовлены лазерные элементы с шириной контакта $w = 200$ мкм и длиной резонатора $L_{cav} = 1600$ мкм. Коэффициенты отражения передней и задней граней резонатора с нанесенными оптическими покрытиями равнялись $R_1 = 0.05$ и $R_2 = 0.95 - 0.98$. Лазерные элементы были собраны в линейки длиной $L = 5$ мм из двенадцати ЛД с коэффициентом заполнения 48%. Все измерения проводились в квазинепрерывном режиме накачки (длительность импульсов $\tau = 200$ мкс, частота следования $f = 20$ Гц).

3. Результаты и их обсуждение

Для сравнения эффективности линеек двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД с линейками одиночных ЛД был проведен ряд измерений их электрических и оптических свойств. Из данных вольт-амперных характеристик, представленных на рис.2, видно, что падение напряжения для линейки на основе двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД (3.2 В) вдвое выше, чем у линеек из одиночных ЛД (1.5 В). Это объясняется увеличением количества последовательно-соединенных ЛД и дополнительным падением напряжения на обратно-смещенном туннельном переходе между ними.

На рис.3 представлены ватт-амперные характеристики (ВтАХ) линеек из одиночных и двойных ЛД, пороговые токи линеек составили 13 и 14.5 А соответственно. Наклон кривой ВтАХ вырос с 1.16 до 2.18 Вт/А, при этом выходная оптическая мощность увеличилась во всем исследованном диапазоне токов накачки. Так, при токе накачки 60 А мощность излучения линейки из одиночных

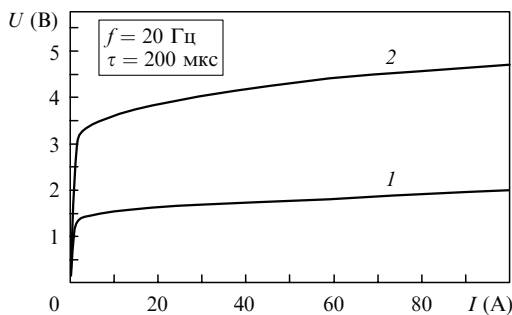


Рис.2. Вольт-амперная характеристика линеек одиночных ЛД (1) и на основе двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД (2).

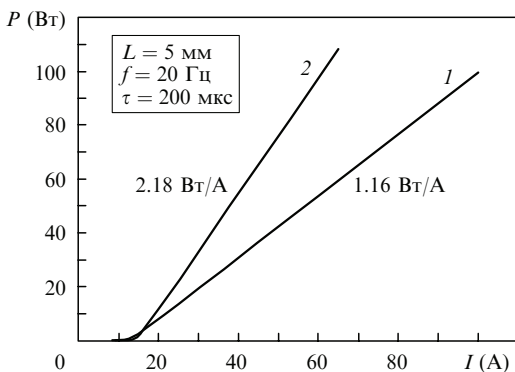


Рис.3. Ватт-амперная характеристика линеек одиночных ЛД (1) и на основе двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД (2).

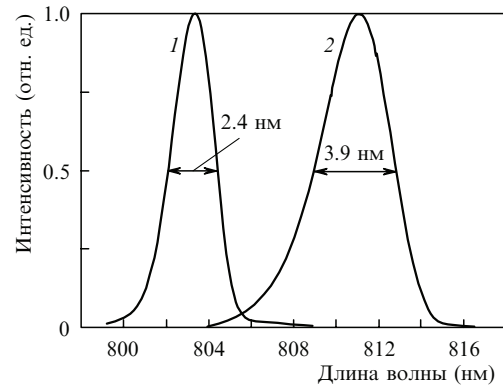


Рис.4. Спектры излучения линеек из одиночных ЛД (1) и на основе двойных ЛД (2). Ток накачки 60 А.

ЛД составила 55 Вт, а мощность линейки на основе двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД – 100 Вт. Таким образом, мощность излучения увеличилась в 1.8 раза, что говорит об успешной реализации рассматриваемого подхода.

Из представленных на рис.4 спектров излучения линеек видно, что полученная генерация лежит в требуемой спектральной области. Спектральный максимум линии излучения лазерной линейки из одиночных ЛД при токе накачки 60 А соответствует 803 нм, а линейки на основе двойной эпитаксиально-интегрированной ГС – 811 нм. Данное смещение спектра излучения можно объяснить разогревом ГС, т. к. при том же токе накачки в двойных ЛД выделяется в два раза больше тепла, чем в одиночных ЛД. При этом отвод тепла от более удаленной активной области двойной ГС затруднен, что также способствует разогреву. По величине сдвига можно определить относительный перегрев излучающих областей линейки из двойных ЛД, который по нашим оценкам составляет примерно 25 К.

Кроме того, полуширина спектральной линии излучения лазерной линейки, изготовленной на основе одиночных ЛД, составляет 2.4 нм, а линейки на основе двойных ЛД – 3.9 нм. Такое уширение также напрямую связано с повышенным разогревом двойных ЛД. Угловая расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной плоскости р–п-перехода, составила 29–30°, а в плоскости, параллельной плоскости р–п-перехода, – 8°.

На рис.5 представлен интегральный профиль излучения в ближнем поле линейки ЛД на основе двойной гетероструктуры. Видно, что все двенадцать ЛД в линейке работают практически одинаково.

Итак, можно утверждать, что эпитаксиальная интеграция ЛД позволила добиться ожидаемого повышения

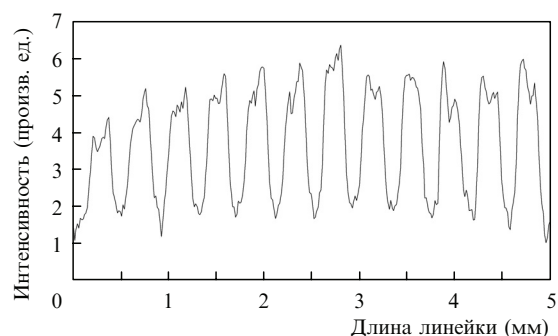


Рис.5. Интегральный профиль излучения в ближнем поле линейки на основе двойных ЛД. Ток накачки 40 А.

выходной мощности линейки по сравнению с линейками на основе традиционных одиночных ЛД. Как правило, линейки одиночных ЛД длиной 10 мм излучают мощность 100 Вт при токе накачки 100–115 А [9, 10], в то время как изготовленные в данной работе линейки длиной 5 мм на основе двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД обеспечивают ту же мощность при токе накачки всего 60 А. Таким образом, использование эпитаксиально-интегрированных гетероструктур позволяет сохранить прежний уровень мощности линеек при меньших размерах излучающего элемента.

4. Выводы

Созданы и исследованы линейки одиночных ЛД и двойных эпитаксиально-интегрированных ЛД на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs, излучающих в спектральной области 808 нм.

Линейки двойных ЛД имели наклон Вт/Ах 2.18 Вт/А против 1.16 Вт/А у линейки одиночных ЛД. При этом наблюдалось кратное увеличение падения напряжения. Линейки ЛД длиной 5 мм на основе двойной эпитаксиально-интегрированной ГС имели выходную мощность 100 Вт при токе накачки 60 А, что в 1.8 раза больше мощности, полученной от линейки одиночных лазеров при тех же условиях.

1. Елисеев П.Г. *Квантовая электроника*, **32**, 1085 (2002).
2. Behringer M., Eberhard F., Herrmann G., Luft J., Maric J., Morgott S., Philippens M., Teich W. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **4831**, 4 (2003).
3. Микаелян Г.Т. *Квантовая электроника*, **36**, 222 (2006).
4. Кацавец Н.И., Бученков В.А., Искандаров М.О., Никитичев А.А., Соколов Э.Г., Тер-Мартirosян А.Л. *Письма в ЖТФ*, **34**, 6 (2008).
5. Shen G., Lian P., Guo X., Yin T., Chen C., Wang G., Du J., Cui B., Li J., Liu Y., Gao G., Zou D., Chen J., Ma X., Chen L. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **4225**, 327 (2000).
6. Muller M., Philippens M., Gronninger G., Konig H., Moosburger J., Herrmann G., Reufer M., Luft J., Stoiber M., Lorenzen D. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **6456**, 64561B-1 (2007).
7. Зверков М.В., Коняев В.П., Кричевский В.В., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Симаков В.А., Сухарев А.В. *Квантовая электроника*, **38**, 989 (2008).
8. Давыдова Е.И., Зверков М.В., Коняев В.П., Кричевский В.В., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Симаков В.А., Сухарев А.В., Успенский М.Б. *Квантовая электроника*, **39**, 723 (2009).
9. Абазадзе А.Ю., Безотосный В.В., Гурьева Т.Г., Давыдова Е.И., Залевский И.Д., Зверев Г.М., Лобинцов А.В., Мармалюк А.А., Сапожников С.М., Симаков В.А., Успенский М.Б., Шишкин В.А. *Квантовая электроника*, **31**, 659 (2001).
10. Демидов Д.М., Ивкин А.Н., Кацавец Н.И., Кокин С.В., Леус Р.В., Тер-Мартirosян А.Л., Чалый В.П. *Письма в ЖТФ*, **27**, 36 (2001).