

# Двухволновые лазерные диоды на основе 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

*Получены и исследованы двойные интегрированные лазерные гетероструктуры на основе AlGaAs/GaAs, содержащие две различные активные области, выращенные методом МОС-гидридной эпитаксии в едином процессе роста. Типичный наклон ватт-амперной характеристики составил 2.3 Вт/А, что почти вдвое выше, чем у лазерного диода (1.2 Вт/А). Продемонстрирована генерация излучающих областей двухволновых лазеров в спектральном диапазоне 800–815 нм. Расстояние между спектральными максимумами составило ~7 нм. Исследована зависимость длины волны генерации активных областей как двухволновых, так и одиночных лазеров от тока накачки и показано, что более удаленная от теплоотвода излучающая область чувствительнее к увеличению тока накачки.*

**Ключевые слова:** двойная лазерная гетероструктура, дифференциальная эффективность, двухволновый спектр генерации.

## 1. Введение

В настоящее время эпитаксиальная интеграция является перспективным способом вертикального соединения полупроводниковых лазерных диодов (ЛД) [1, 2]. Помимо повышения выходной мощности, существенным преимуществом эпитаксиальной интеграции является возможность независимого управления длинами волн отдельных излучающих областей. Это обусловлено выбором такой конструкции гетероструктур (ГС), при которой активные области не будут оптически связаны друг с другом. Такая возможность позволяет создавать монолитные излучатели, работающие на нескольких различных длинах волн. Так, например, сначала в работе [3] был продемонстрирован двухволновый лазер на основе ГС InGaAs/AlGaAs, излучающий на двух длинах волн 956 нм и 985 нм. Позже подобные лазеры были реализованы и в других спектральных диапазонах: ЛД на основе AlGaInP/AlGaAs с генерацией на длинах волн 650 и 780 нм [4]; ЛД на основе InGaAs/InGaP, излучающий на длинах волн 951 и 1063 нм [5]; ЛД на основе InGaAs/AlGaAs, работающий на длинах волн 914 и 925 нм [6].

В настоящей работе рассмотрена возможность создания двухволнового эпитаксиально-интегрированного ЛД на основе ГС AlGaAs/GaAs, излучающего в спектральной области 800–815 нм.

## 2. Эксперимент

Эпитаксиальные ГС для интегрированных лазеров на основе AlGaAs/GaAs были выращены методом МОС-

гидридной эпитаксии (подробности процесса роста изложены в [1, 2]). Генерация на двух длинах волн достигалась за счет создания квантовых ям различной геометрии и выбиралась для каждой активной области в спектральном диапазоне 800–815 нм. Интеграция двух лазерных ГС осуществлялась посредством туннельного перехода, для предотвращения поглощения излучения в нем эмиттерные слои были выбраны толщиной 1.5 мкм. Зонная диаграмма изучаемой ГС схематически изображена на рис.1.

Для измерения излучательных, спектральных и электрических характеристик были изготовлены лазерные элементы с шириной контакта  $W = 200$  мкм и длиной резонатора  $L = 1600$  мкм. Коэффициенты отражения передней ( $R_1$ ) и задней ( $R_2$ ) граней резонатора с нанесенными оптическими покрытиями составили 0.07 и 0.95–0.98 соответственно. Все измерения проводились в квазинепрерывном режиме накачки (длительность импульсов  $\tau = 200$  мкс, частота повторения  $f = 20$  Гц).

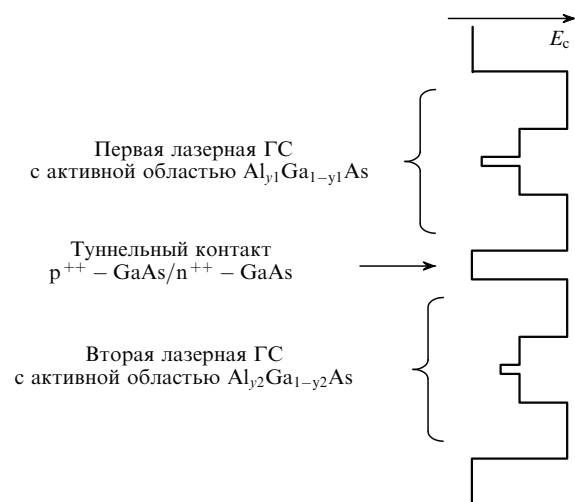


Рис.1. Схема зоны проводимости эпитаксиально-интегрированной ГС, излучающей на разных длинах волн.

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 "Полнос" им. М.Ф.Стельмаха», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3; e-mail: M.Ladugin@siplus.ru

Поступила в редакцию 12 мая 2010 г.

### 3. Результаты

Полученные эпитаксиально-интегрированные ГС состояли из двух излучающих областей, расстояние между длинами волн излучения составило 6–8 нм. Результаты измерений параметров двухволнового ЛД сравнивались с таковыми для одиночных ЛД. Вольт-амперные характеристики одиночного и двухволнового ЛД представлены на рис.2. Напряжение отсечки для двухволнового ЛД составило 3.2 В, что в два раза больше, чем у одиночных лазерных структур. Такое поведение вольт-амперной характеристики характерно для эпитаксиально-интегрированных ЛД [1, 2].

На рис.3 показаны ватт-амперные характеристики (ВтАХ) исследованных лазеров. Двухволновые лазерные элементы имели пороговый ток около 1.55 А. Отсутствие изломов ВтАХ свидетельствует о незначительном отличии пороговых токов в обеих активных областях интегрированного лазера, что достигалось выбором близкой геометрии активных областей. Типичные значения наклона ВтАХ для двухволновых ЛД составили 2.3 Вт/А.

Спектры излучения двухволнового ЛД (рис.4) демонстрируют генерацию на двух различных длинах волн. С увеличением тока накачки имеет место «красный» сдвиг длин волн обеих излучающих областей ЛД, что связано с разогревом структуры. В самом лазере коротковолновая активная область находится дальше от теплоотвода, поэтому при эксплуатации она будет разогреваться сильнее, и в ее спектре должен наблюдаться более выраженный длинноволновый сдвиг, что приведет к сближению

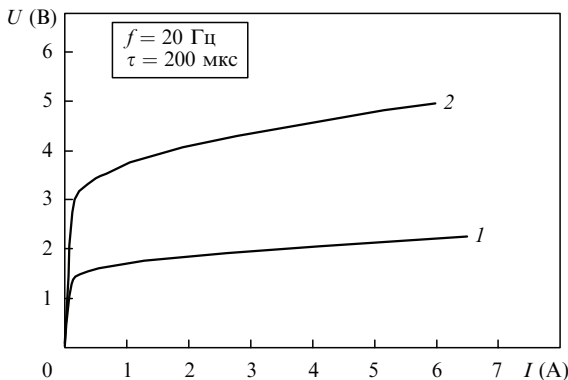


Рис.2. Вольт-амперная характеристика одиночного (1) и двухволнового ЛД (2).

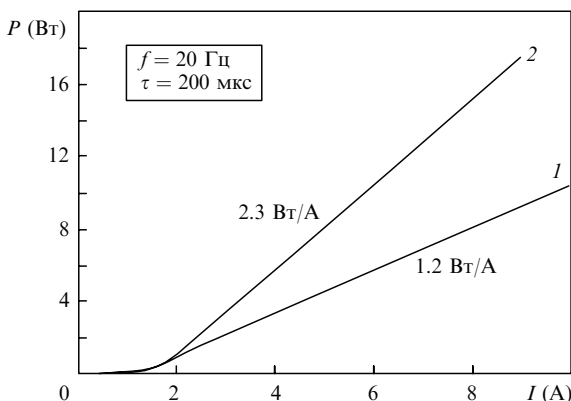


Рис.3. Ватт-амперная характеристика одиночного (1) и двухволнового ЛД (2).

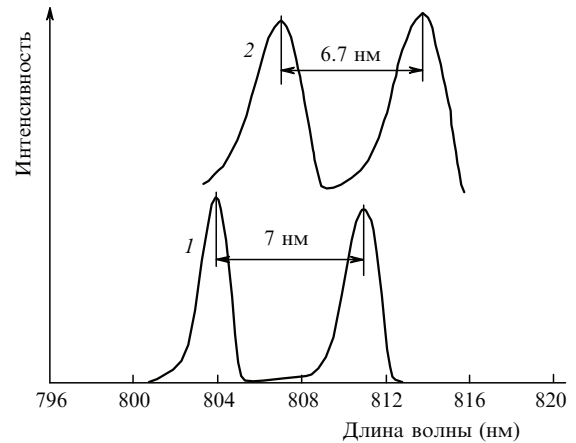


Рис.4. Спектр излучения двухволнового ЛД при токах накачки 4 (1) и 7 А (2).

спектральных максимумов. Так, при увеличении тока накачки с 4 до 7 А расстояние между максимумами уменьшилось на 0.3 нм. Столь небольшое сближение объясняется тем, что в эпитаксиально-интегрированной ГС излучающие области находятся на малом расстоянии друг от друга (3–5 мкм) и их нагрев в квазинепрерывном режиме накачки происходит практически одинаково.

Зависимость длины волны излучаемых ЛД от тока накачки приведена на рис.5. Видно, что двухволновые ЛД характеризуются большим углом наклона представленных кривых. Это вполне закономерно, т. к. при одном и том же токе накачки в двухволновом ЛД работают две излучающие области, и, следовательно, тепловыделение в таких ЛД в два раза больше. Действительно, изменение длины волны для одиночного ЛД составляет 0.4 нм/А, а для излучающих областей двухволнового ЛД — 0.9 нм/А и 1.0 нм/А. На представленном рисунке можно также видеть сближение спектральных максимумов двухволновых ЛД с ростом тока накачки.

Таким образом, использование эпитаксиальной интеграции в процессе формирования ГС в системе материалов AlGaAs/GaAs позволяет получать двухволновые ЛД повышенной мощности, излучающие в спектральном диапазоне 800–815 нм. Путем подбора геометрии активных областей эпитаксиальной ГС можно независимо управлять спектральными характеристиками каждой излучающей области.

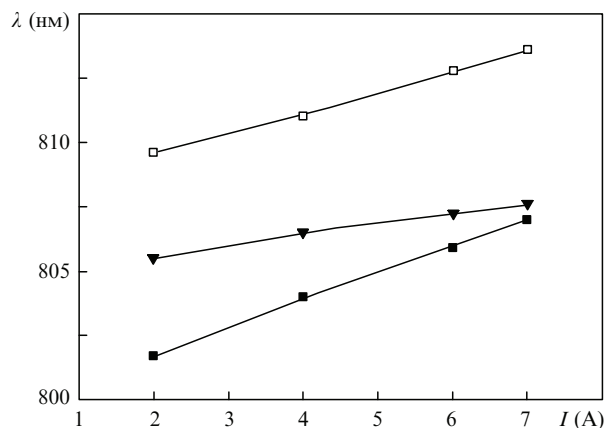


Рис.5. Зависимость длины волны излучения от тока накачки для первой (□) и второй (■) излучающих областей двухволнового ЛД, а также для одиночного ЛД (▼).

Мы полагаем, что двухволновые лазерные диоды могут найти применение в системах накачки твердотельных лазеров на основе  $\text{YAG:Nd}^{3+}$ , поскольку они позволяют поддерживать заданную мощность излучения в требуемом узком спектральном диапазоне, совпадающем с полосой поглощения ионов  $\text{Nd}^{3+}$ , при различных температурах. Действительно, при увеличении температуры максимум спектра излучения одной активной области будет удаляться от полосы поглощения накачиваемой среды, тогда как максимум спектра второй активной области начнет приближаться и перекрываться с ней. Это даст возможность значительно снизить требования к системам термостабилизации таких лазерных излучателей.

#### 4. Заключение

В настоящей работе получены и исследованы двойные интегрированные лазерные гетероструктуры на основе  $\text{AlGaAs/GaAs}$ , выращенные методом МОС-гидридной эпитаксии в едином процессе роста, особенностью которых является генерация на двух различных длинах волн в спектральном диапазоне 800–815 нм.

Наклон кривой  $\text{Вт/А}$  таких эпитаксиально-интегрированных ЛД составил 2.3 Вт/А, что практически в два раза выше, чем у одиночного ЛД (1.2 Вт/А). Продемонстрирована независимая генерация излучающих обла-

стей двухволновых ЛД, расстояние между спектральными максимумами составило  $\sim 7$  нм. Исследована зависимость длины волны генерации активных областей двухволновых ЛД от тока накачки, и показано, что более удаленная от теплоотода излучающая область чувствительнее (1.0 нм/А против 0.9 нм/А) к увеличению тока накачки. (Для одиночных ЛД эта зависимость составила лишь 0.4 нм/А.)

1. 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).
2. 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).
3. Garcia Ch., Rosencher E., Collot Ph., Laurent N., Guyaux J.L., Vinter B., Nagle J. *Appl. Phys. Lett.*, **71**, 3752 (1997).
4. Guo W., Shen G., Li J., Wang T., Gao G., Zou D. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **5623**, 217 (2005).
5. Бирюков А.А., Звонков Б.Н., Некорин С.М., Демина П.Б., Семенов Н.Н., Алешкин В.Я., Гавриленко В.И., Дубинов А.А., Маремьянин К.В., Морозов С.В., Беянин А.А., Кочаровский В.В., Кочаровский Вл.В. *ФТП*, **41**, 1226 (2007).
6. Винокуров Д.А., Ладугин М.А., Лютецкий А.В., Мармалюк А.А., Петрунов А.Н., Пихтин Н.А., Слипенко С.О., Соколова З.Н., Станкевич А.Л., Фетисова Н.В., Шашкин И.С., Аверкиев Н.С., Тарасов И.С. *ФТП*, **44**, 833 (2010).