

06.2; 06.3; 12

© 1991

ЗАРОШЕННЫЕ  $AlGaAs$  КВАНТОВОРАЗМЕРНЫЕ  
 ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ  
 КОМБИНИРОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОСГИДРИДНОЙ  
 И ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ

С.Ф. В и е р у, В.А. Г о р б ы л е в,  
 А.Т. Л у п у, А.З. М е р е у ц э,  
 А.И. П е т р о в, Г.И. С у р у ч а н у,  
 А.В. С ы р б у, А.А. Ч е л ь н ы й,  
 В.П. Я к о в л е в

Ранее было показано, что жидкофазной зарощивание квантово-размерных  $AlGaAs$  гетероструктур, полученных молекулярной [1] и низкотемпературной жидкофазной эпитаксией [2], позволяет получить наиболее низкопороговые лазерные диоды. Зарощенные  $AlGaAs$  квантово-размерные лазеры также были получены на мосгидридных эпитаксиальных структурах с использованием мосгидридного процесса и на этапе зарощивания [3].

В данном сообщении приводятся результаты исследований зарощенных  $AlGaAs$  квантово-размерных лазерных диодов, в которых исходная эпитаксиальная лазерная структура выращена мосгидридной эпитаксией, а зарощивание проводилось жидкофазной эпитаксией.

Исходная лазерная гетероструктура с одиночной квантовой ямой была выращена в НПО „ПОЛЮС“ г. Москва на специализированном оборудовании французского производства типа MIX-50 и включала следующие слои: буферный слой  $n-GaAs$   $n=5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  толщиной 0.4 мкм, ограничивающий слой  $n-Al_{0.59}Ga_{0.41}As$ ,  $n=7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  с толщиной 1.94 мкм, волноводный слой  $n-Al_{0.3}Ga_{0.7}As$   $n=6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  с толщиной 0,1 мкм, активная область  $GaAs$  с  $n=5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и с толщиной 9 нм, волноводный слой  $n-Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ ,  $n=5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  с толщиной 0.1 мкм, ограничивающий слой  $p-Al_{0.6}Ga_{0.4}As$   $p=9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  с толщиной 1.94 мкм и контактный слой  $p-GaAs$ ,  $p=10^{19} \text{ см}^{-3}$  с толщиной 0.6 мкм. Пороговая плотность тока генерации в лазерных структурах с широким полосковым контактом составляла  $350 \text{ А/см}^2$ .

Получение зарощенных гетероструктур проводилось во втором эпитаксиальном процессе жидкофазного выращиваия, который включает этап формирования мезаструктур в ненасыщенных растворах-расплавах  $Ga-Al-As$  [2]. Ширина активной области в зарощенных лазерных диодах составляла  $2.5 \pm 0.5$  мкм.

Ватт-амперные характеристики 2-х зарощенных лазерных диодов с длиной резонатора 330 и 540 нм, снятые на импульсах длительностью 1 мкс (скважность 100) приведены на рис. 1, кривые 1, 2 соответственно. Пороговый ток генерации лазера с длиной резонатора 330 мкм (лазер 1) равен 3 мА, а лазера с  $L=540$  мкм (лазер 2) – 5 мА. Пороговая плотность тока генерации этих лазеров увеличивается незначительно по сравнению с пороговой плотностью тока генерации лазеров с широким полосковым контактом, что

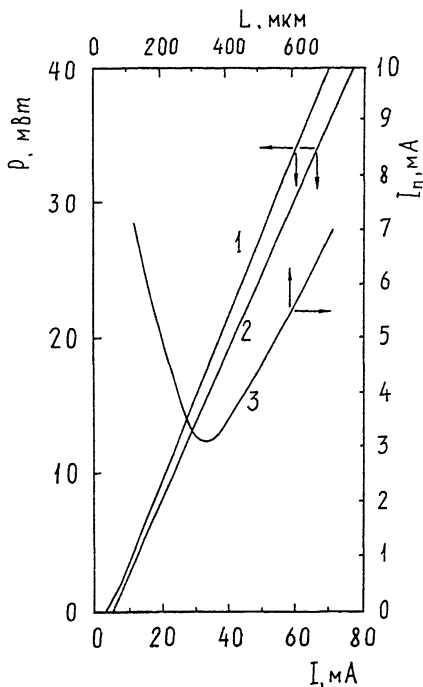


Рис. 1. Ватт-амперные характеристики лазеров с длиной резонатора  $L=330$  мкм - 1,  $L=540$  мкм - 2 и зависимость порогового тока генерации от длины резонатора - 3.

свидетельствует о том, что утечка тока через изолирующую р-п структуру мала. В лазерных диодах, зарощенных полуизолирующим *AlGaAs* слоем, монокристаллической эпитаксией [3] пороговая плотность тока увеличивается в 2.5 раза по сравнению с пороговой плотностью тока лазеров с широким полосковым контактом.

Как видно из рисунка, ватт-амперные характеристики лазеров линейны во всем интервале рабочих токов. Дифференциальная квантовая эффективность с одного зеркала лазера 1 равна 43 %, а лазера 2 - 38 %. Интересно отметить, что данные диоды, которые были измерены на прижимном контакте также работают в непрерывном режиме во всем интервале рабочих токов до мощности 40 мВт.

Зависимость порогового тока генерации таких лазеров от длины резонатора также представлена на рис. 1, кривая 3. Минимальное значение порогового тока, равное 3 мА, было получено для длины резонатора 330 мкм. Как уменьшение, так и увеличение длины резонатора приводит к увеличению порогового тока.

На рис. 2 приведены ватт-амперные характеристики диодов, посаженных на теплоотвод, снятые в непрерывном режиме. Максимальная мощность излучения лазера без покрытий зеркал с длиной резонатора 700 мкм (кривая 1) равна 60 мВт. Нанесение покрытий

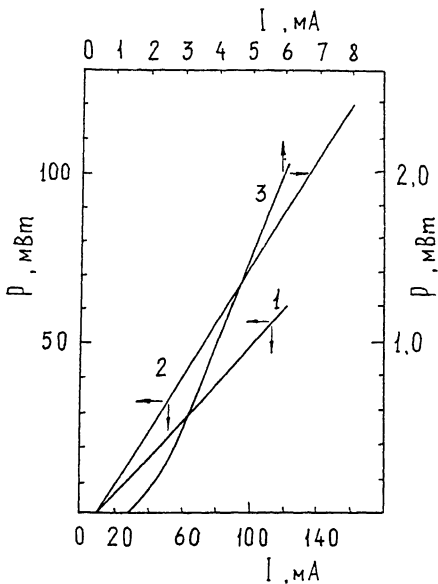


Рис. 2. Ватт-амперные характеристики лазеров, излучающих в непрерывном режиме. 1 - лазер без покрытий зеркал,  $L = 700$  мкм, 2 - лазер с покрытиями зеркал ( $R_1 = 12\%$ ,  $R_2 = 95\%$ ,  $L = 700$  мкм), 3 - лазер с покрытиями зеркал ( $R_1 = 95\%$ ,  $R_2 = 90\%$ ,  $L = 200$  мкм).

зеркал ( $R_1 = 12\%$ ,  $R_2 = 95\%$ ,  $L = 700$  мкм) приводит к увеличению максимальной мощности излучения до 120 мВт, которая достигается при токе 160 мА (кривая 2). Нанесение отражающих покрытий на оба зеркала ( $R_1 = 95\%$ ,  $R_2 = 90\%$ ) лазеров с длиной резонатора 200 мкм позволяет понизить пороговые токи до 1.5–2.0 мА (кривая 3).

Данные лазерные диоды характеризуются нулевым астигматизмом. Спектральные характеристики излучения этих лазеров, как и лазеров, полученных полностью жидкофазной эпитаксией, в зависимости от тока накачки, состоят из одной-двух продольных мод. На рис. 3 приведены распределения дальнего поля излучения лазера с длиной резонатора 390 мкм ( $I_n = 5$  мА) при трех значениях излучающей мощности: 40 мВт (кривая 1), 20 мВт (2) и 10 мВт (3). Как видно из рисунка, излучение является пространственно одномодовым. Полуширины распределения дальнего поля в направлениях перпендикулярном и параллельном плоскости активного слоя составляют  $\theta_{\perp} = 40^\circ$  и  $\theta_{\parallel} = 20^\circ$ .

Таким образом, полученные результаты показывают, что квантоворазмерные зарощенные *AlGaAs* одномодовые лазерные диоды, полученные комбинированием методов мосгидридной и жидкофазной эпитаксии, обладая низкими значениями парового тока генерации

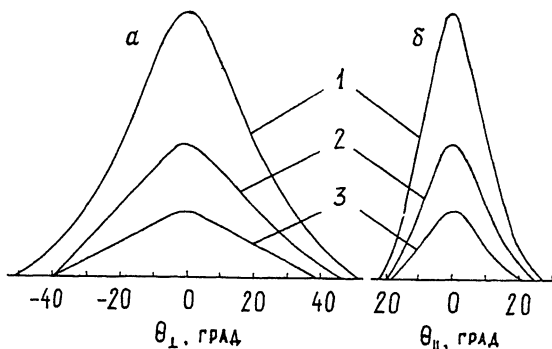


Рис. 3. Распределения дальнего поля излучения лазера с длиной резонатора  $L=390$  мкм в направлениях перпендикулярном - а и параллельном - б плоскости активного слоя. 1 -  $P=40$  мВт, 2 -  $P=20$  мВт, 3 -  $P=10$  мВт.

и нулевым астигматизмом, также позволяют получать высокие мощности излучения ( $\sim 100$  мВт), что весьма важно для ряда новых применений.

В заключение авторы выражают благодарность А.А. Бородкину, А.Б. Казанцеву и А.В. Смирнову за осаждение покрытий зеркал.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] D e r r y P.L., C h e n H.Z., M o r c o s H., Y a r i v A., L a u K.Y., B a r - C h a i m N., L e e K., R o s e n - b e r g J. // J. Vac. Sci. Technol. B. 1988. V. 6. N 2. P. 689-691.
- [2] A l f e r o v Zh.I., A n d r e e v V.M., M e r e u t z a A.Z., S y r b u A.V., Y a c o v l e v V.P. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. P. 2873-2875.
- [3] O k a y a s u M., K o z e n A., H a s u m i Y., T e m m y o J., U e h a r a S. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. P. 1980-1982.

Поступило в Редакцию  
9 октября 1991 г.