

КВАНТОВОРАЗМЕРНЫЕ ПОЛОСКОВЫЕ  
*AlGaAs* -ГЕТЕРОЛАЗЕРЫ МИЛЛИАМПЕРНОГО ДИАПАЗОНА  
 ТОКОВ ( $I_n = 2.1$  мА,  $T = 300$  К),  
 ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЖФЭ

Ж.И. А л ф е р о в, В.М. А н д р е е в,  
 В.Ю. А к с е н о в, Т.Н. Н а л е т,  
 Н г у е н Т х а н ь Ф ы о н г,  
 В.Д. Р у м я н ц е в, В.П. Х в о с т и к о в

В последнее время достигнуты значительные успехи в снижении пороговых токов ( $I_n$ ) инжекционных лазеров полосковой геометрии на основе *AlGaAs*-гетероструктур с квантово-размерной активной областью. В работах [1-3] достигнуты значения  $I_n = 2.5-6$  мА в лазерах с коэффициентами отражения зеркал резонатора Фабри-Пери  $R_1 = R_2 = 0.3$  (без покрытий на сколотых гранях). В работах [3-4] при напылении на тыльное зеркало резонатора отражающего покрытия ( $R_2 = 0.7-0.9$ ) получены значения  $I_n = 2-3$  мА. В работах [2-3] при напылении отражающих покрытий на оба зеркала резонатора ( $R_1 = 0.7$ ,  $R_2 = 0.8$ ) значения  $I_n$  снижены до величины 0.55-0.95 мА. Сравнение ватт-амперных характеристик, приведенных в перечисленных работах для лазеров с различными значениями коэффициентов отражения зеркал резонатора, показывает, что генерация оптической мощности более 1 мВт (уровня мощности, полезного для практических применений) осуществляется при наименьших рабочих токах в лазерах с отражающим покрытием только на тыльном зеркале. Следует отметить, что в указанных работах лазерные структуры выращивались методом молекулярно-пучковой эпитаксии, а ширина канала для протекания тока составляла  $D \approx 1$  мкм.

В предыдущей работе [5] нами сообщалось о получении значений  $I_n = 6.2$  мА в мезаполосковых лазерах ( $D = 4.5$  мкм) на основе квантоворазмерных *AlGaAs*-гетероструктур, выращенных методом низкотемпературной жидкофазной эпитаксии (НТ ЖФЭ). Особенностью данных структур, отмеченной в [5, 6], является существенно меньшее (в 2-3 раза) значение пороговой плотности тока ( $I_n$ ) в лазерах с малой длиной резонатора ( $L < 200$  мкм) по сравнению с лучшими опубликованными значениями для инжекционных лазеров. В настоящем сообщении приведены результаты исследований по снижению  $I_n$  в мезаполосковых лазерах на основе таких структур за счет нанесения отражающих покрытий на сколотые грани резонатора.

Методика выращивания гетероструктур с профилем, изображенным на рис. 1, была аналогична описанной в [5, 6]. Для формирования мезаполосковой геометрии лазеров ( $D = 4.5$  мкм) использовался самосовмещенный процесс травления и анодного окисления пассивных участков, после чего на обе стороны пластины наносились

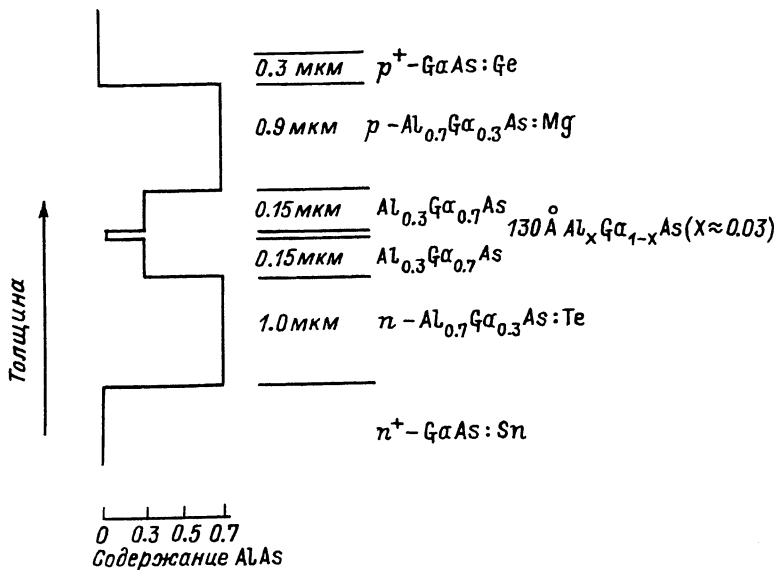


Рис. 1. Распределение  $\text{AlAs}$  по толщине исследованных  $\text{AlGaAs}$ -гетеролазеров.

сплошные омические контакты [5]. Мезаполосковые лазеры изготавливались из структуры, имеющей пороговую плотность тока на контрольных диодах  $I_n = 170 \text{ A/cm}^2$  при  $L = 700 \text{ мкм}$  и  $D = 50 \text{ мкм}$ . Отражающие покрытия на гранях резонатора представляли собой три пары напыленных слоев  $\text{SiO}_2 - \text{Si}$ , которые имели в диапазоне  $\lambda = 0.8 - 0.85 \text{ мкм}$  коэффициент отражения  $R \approx 0.95$ .

На рис. 2, а представлены ватт-амперные характеристики трех полосковых лазеров, а на рис. 2, б - спектры генерации этих лазеров в точках ватт-амперных характеристик, отмеченных кружками на рис. 2, а. Характеристика 1 (рис. 2, а) соответствует минимальному (при варьировании  $L$ ) значению  $I_n = 5.6 \text{ mA}$  ( $L = 70 \text{ мкм}$ ), полученному на образцах с сколотыми гранями без отражающих покрытий ( $R_1 = R_2 = 0.32$ ). Мощность излучения  $P$  приведена в расчете на оба зеркала резонатора. Высокое значение дифференциального внешнего квантового выхода излучения  $\eta_{\text{внеш}} \approx 0.95$  свидетельствует о высоком качестве лазерных  $\text{AlGaAs}$ -гетероструктур, полученных методом НТ ЖФЭ. При напылении отражающего покрытия только на тыльное зеркало резонатора ( $R_1 = 0.32$ ,  $R_2 = 0.95$ ) значение  $I_n$  понижается до  $3.4 \text{ mA}$  ( $L = 98 \text{ мкм}$ ) при значении  $\eta_{\text{внеш}} = 0.95$  для излучения, выходящего только через фронтальное зеркало резонатора (характеристика 2). Наконец, при напылении отражающих покрытий на оба зеркала резонатора ( $R_1 = R_2 = 0.95$ ) потери на выход излучения становятся минимальными, что вызывает

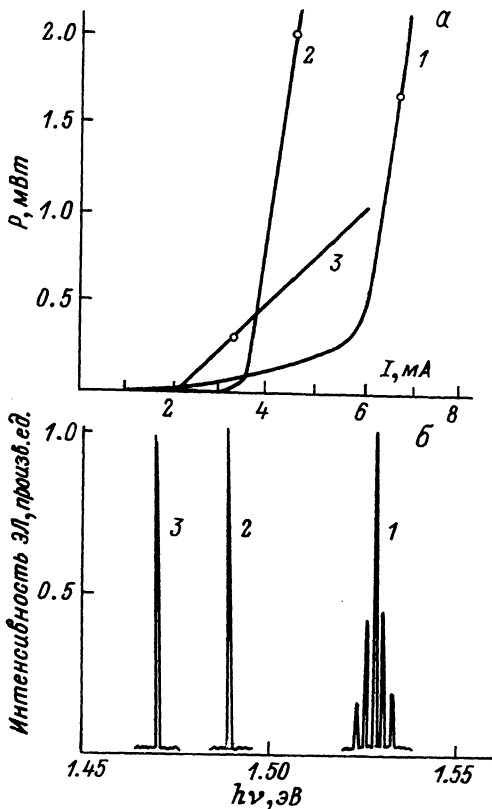


Рис. 2. а) Ватт-амперные характеристики мезаполосковых лазеров: 1 -  $L = 70$  мкм,  $R_1 = R_2 = 0.32$ ; 2 -  $L = 98$  мкм,  $R_1 = 0.32$ ,  $R_2 = 0.95$ ; 3 -  $L = 42$  мкм,  $R_1 = R_2 = 0.95$ ; б) Спектры излучения тех же лазеров в точках их ваттамперных характеристик, отмеченных кружками на рис. 2, а.  $D = 4.5$  мкм,  $T = 300$  К.

дополнительное снижение  $I_n$  (характеристика 3,  $I_n = 2.1$  мА,  $L = 42$  мкм). В последнем случае, однако, следует учитывать потери на поглощение в зеркалах ( $\sim 5\%$  при сквозном прохождении излучения), которые, суммируясь с потерями на поглощение и рассеяние излучения в волноводе, при увеличении их вклада за счет многократных проходов уменьшают дифференциальную эффективность лазера. Положение линии генерации при этом оказывается наиболее длинноволновым из рассмотренных случаев (рис. 2, б), хотя длина резонатора минимальна.

В исследованных лазерах наблюдается не только существенное снижение пороговых токов при увеличении коэффициента отражения зеркал резонатора Фабри-Перо, но и переход к одномодовому режиму генерации (спектры 2 и 3 рис. 2, б). Дальнейшее уменьшение значений  $I_n$  может быть достигнуто при улучшении локализации проте-

кания тока за счет уменьшения ширины мезы или перехода к полосковой геометрии с узкой мезой, зарощенной методом НТ ЖФЭ. Сравнение полученных в настоящей работе результатов с опубликованными данными по низкопороговым полосковым лазерам [3] показывает, что лазеры, полученные методом НТ ЖФЭ и имеющие отражающее покрытие на тыльном зеркале резонатора (рис. 2, а, характеристика 2), обеспечивают генерацию оптической мощности более 2 мВт при наименьших рабочих токах.

Авторы выражают благодарность О.В. Салате и В.А. Соловьеву за проведение измерений на растворе электронном микроскопе и И.А. Мокиной за помощь в изготовлении образцов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Tsang W.T., Logan R.A., Ditrenger J.A. - Electron. Lett., 1982, v. 18, p. 345.
- [2] Derry P.L., Yariv A., Lau K.Y., Bar-Chaim N., Rosenberg J. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 50, N 25, p. 1773-1775.
- [3] Lau K.Y., Derry P.L., Yariv A. - Appl. Phys. Lett., 1988, v. 50, N 2, p. 88-90.
- [4] Thornton R.L., Burnham R.D., Paoletti T.L., Holonyak N., Yr. and Deppe D.G. - Appl. Phys. Lett., 1985, v. 47, N 12, p. 1239-1241.
- [5] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Аксенов В.Ю., Ларионов В.Р., Мокина И.А., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. - Письма в ЖТФ, т. 14, в. 17, с. 1537-1541.
- [6] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Аксенов В.Ю., Ларионов В.Р., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. - ФТП, 1988, т. 22, в. 10, с. 1771-1775.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
30 августа 1988 г.