

НИЗКОПороГОВЫЕ ( $I_n=6.2$  мА,  $T=300$  К)  
ПОЛОСКОВЫЕ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫЕ  
 $AlGaAs$  -ГЕТЕРОЛАЗЕРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ  
МЕТОДОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЖФЭ

Ж.И. Алфёров, В.М. Андреев, В.Ю. Аксёнов,  
В.Р. Ларионов, И.А. Мокина,  
В.Д. Румянцев, В.П. Хвостиков

Недавно в литературе появились сообщения о получении  $AlGaAs$ -гетеролазеров полосковой геометрии с пороговым током  $I_n=3$  мА [1] и  $I_n=5.5$  мА [2] в образцах без отражающих покрытий на зеркалах резонатора. Лазерные структуры раздельного ограничения с квантово-размерной активной областью здесь выращивались методом молекулярно-пучковой эпитаксии, а излучающие полоски шириной  $D \approx 1$  мкм формировались при зарастивании мезы методом жидкофазной эпитаксии.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследований низкопороговых меза-полосковых лазеров на основе  $AlGaAs$ -структур, выращенных методом низкотемпературной ЖФЭ [3, 4]. Как и ранее [5], структуры выращивались на подложке  $n^+GaAs \langle 100 \rangle$  и содержали буферный слой  $nGaAs$  ( $Te$ ; 0.5 мкм), слой широкозонного эмиттера  $nAl_{0.7}Ga_{0.3}As$  ( $Te$ ; 1.2 мкм), два нелегированных волноводных слоя  $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$  (по 0.15 мкм), окружающих квантовотонкую активную область  $Al_xGa_{1-x}As$  ( $x \approx 0.03$ ;  $d \approx 120-160$  Å), широкозонный эмиттер  $pAl_{0.7}Ga_{0.3}As$  ( $Mg$ ; 0.6 мкм) и контактный слой  $p^+GaAs$  ( $Ge$ ; 0.2 мкм). Далее травлением до середины слоя  $pAl_{0.7}Ga_{0.3}As$  формировались полосковые мезы шириной  $D=4.5$  и 50 мкм, чередующиеся с шагом 300 мкм. Для локализации протекания тока участки пластины, вскрытые травлением, анодно окислялись в водном растворе лимонной кислоты, аммиака и

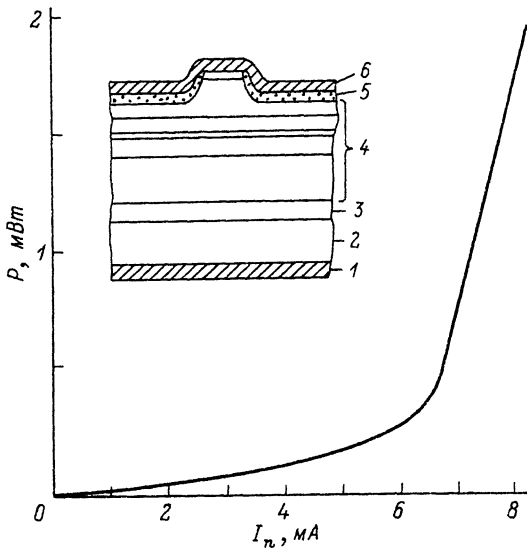


Рис. 1. Схематический разрез меза-полоскового лазера и ватт-амперная характеристика лазерного диода с длиной резонатора Фабри-Перо  $L=140$  мкм ( $T=300$  К): 1 - контакт к  $nGaAs$ -подложке, 2 -  $nGaAs$ -подложка, 3 - буферный слой  $GaAs$ , 4 - лазерная  $AlGaAs$ -гетероструктура, 5 - анодный окисел, 6 - контакт к слою  $pGaAs$ .

этиленгликоля, при этом вершины мез оставались защищены полосками фоторезиста. Использовались сплошные контактные покрытия  $Au-(Au+Zn)-Au$  к  $p$ -области и  $(Au+Ge)-Au$  к  $n$ -подложке. Резонаторы Фабри-Перо получались скалыванием пластин. Схематический разрез исследованных меза-полосковых лазеров изображен на вставке рис. 1. Лазеры с  $D=50$  мкм использовались для контроля структур по величине пороговой плотности тока.

На рис. 1 приведен начальный участок ватт-амперной характеристики одного из лазеров с  $D=4.5$  мкм и длиной резонатора  $L=140$  мкм, демонстрирующий получение порогового тока  $I_n=6.2$  мА ( $\lambda=828$  нм, напряжение на пороге генерации  $U_n=1.6$  В).

На рис. 2 кривая 1 показывает зависимость  $I_n=f(L)$  для таких лазеров. Здесь же пунктирная кривая 2 показывает полученную путем геометрического пересчета зависимость  $I_n=f(L)$  для лазеров  $D=4.5$  мкм на основании данных по пороговым плотностям тока ( $j_n$ ), измеренным на лазерах-спутниках с  $D=50$  мкм (кривая 3, правая ось). Видно, что экспериментальные значения  $I_n$  незначительно отличаются от расчетных, что свидетельствует о почти линейном уменьшении  $I_n$  с уменьшением ширины мезы. Это обстоятельство позволяет надеяться на дальнейшее снижение  $I_n$  при пере-

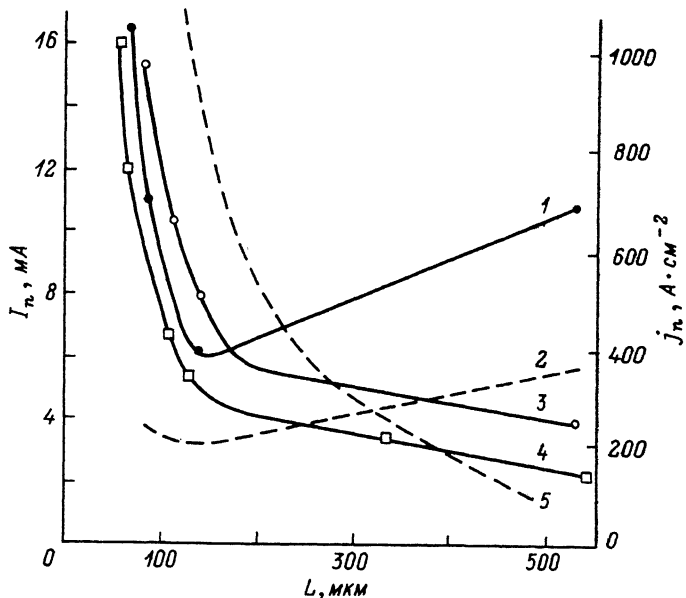


Рис. 2. Зависимости порогового тока  $I_n$  (левая ось) и пороговой плотности тока  $j_n$  (правая ось) от длины резонатора  $L$  ( $T=300\text{K}$ ): 1, 2 - экспериментальная и расчетная зависимости  $I_n$  для мезаполоскового лазера с  $D=4.5$  мкм; 3 - зависимость  $j_n=f(L)$ , полученная на лазерах спутниках с  $D=50$  мкм; 4 - зависимость  $j_n=f(L)$  для серии лучших образцов с  $D=50-100$  мкм; 5 - лучшие опубликованные данные по  $j_n$  для  $AlGaAs$ -гетеролазеров [6, 7] и  $InGaAsP/GaAs$  гетеролазеров [8].

ходе к мезам с  $D=1-2$  мкм, что при выбранном способе их формирования не представляет серьезной проблемы, учитывая „самосовмещенный“ характер травления и анодного окисления пассивных участков пластин.

Для уменьшения  $I_n$  имеются и другие резервы. На рис. 2 кривой 4 показана зависимость  $j_n=f(L)$ , полученная нами по измерениям серии лазеров широкой геометрии, изготовленных из лучших эпитаксиальных структур ( $j_{n\min}=146\text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$  при  $L=540$  мкм). Таким образом, значения  $I_n$  в полосковых лазерах могут быть уменьшены за счет снижения  $j_n$ . Следует отметить, что полученные в настоящей работе значения  $j_n$  (данные кривых 3 и 4) в области малых длин резонатора являются рекордно низкими по сравнению с лучшими опубликованными данными для гетеролазеров на основе твердых растворов  $AlGaAs$  и  $InGaAsP$  (штриховая кривая 5 построена по данным работ [6-8]), что и позволило изготовить

лазеры миллиамперного диапазона со сравнительно широкой мезой. В области  $L < 100$  мкм условие компенсации внешних потерь требует такого увеличения уровня накачки квантово-размерного слоя, при котором становятся существенными эффекты насыщения усиления, о чем свидетельствует резкий рост  $\dot{J}_n$  (кривые 3 и 4) и как следствие – рост  $I_n$  (кривая 1). Однако, как и в работах [1, 2], в исследованных лазерах следует ожидать существенного снижения  $I_n$  при нанесении на зеркала резонатора отражающих покрытий. При этом потери излучения на выход уменьшаются, в то время как внутренние потери остаются достаточно малыми, о чем свидетельствует слабая зависимость  $I_n = f(L)$  в области больших  $L$  (рис. 2, кривая 1). Минимальное значение порогового тока в лазерах, имеющих зеркальное покрытие на одной из граней резонатора ( $R \approx 0,9$ ), составило в наших экспериментах  $I_n = 3,5$  мА.

Таким образом, с помощью метода низкотемпературной ЖФЭ и самосовмещенного процесса формирования меза-полосковой геометрии созданы *AlGaAs*-гетеролазеры миллиамперного диапазона пороговых токов.

Авторы выражают благодарность Т.Н. Налёт и Н.Т. Фьонгу за помощь при изготовлении образцов и проведении измерений.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Y a r i v A. et al. – Appl. Phys. Lett., 1987, v. 50, No 25, p. 1726–1729.
- [2] L a u K.Y., D e r r y P.L., Y a r i v A. – Appl. Phys. Lett., 1988, v. 52, N 2, p. 88–90.
- [3] А л ф е р о в Ж.И., А н д р е е в В.М., К о н н и к о в С.Г., Л а р и о н о в В.Р., П о г р е б и ц к и й К.Ю., Х в о с т и к о в В.П. – Письма в ЖТФ, 1988, т. 14, в. 2, с. 171–176.
- [5] А л ф е р о в Ж.И., А н д р е е в В.М., В о д н е в А.А., И в е н т ь е в а О.О., Л а р и о н о в В.Р., Р у м я н ц е в В.Д. – ФТП, 1986, т. 20, в. 2, с. 381–383.
- [6] M i t t e l s t e i n M., A r a k a w a Y., L a r s o n A., Y a r i v A. – Appl. Phys. Lett., 1986, v. 49, No 25, p. 1689–1691.
- [7] C h e n H.Z., C h a f f a r i A., M o r k o s H., Y a r i v A. – Electronics Lett., 1987, v. 23, No 25, p. 1334–1335.
- [8] А л ф е р о в Ж.И., А н т о н и ш к и с Н.Ю., А р с е н ь е в И.Н., Г а р б у з о в Д.З., Т и к у н о в А.В., Х а л ф и н В.Б. – ФТП, 1987, т. 21, в. 8, с. 1501–1503.

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

Поступило в Редакцию  
10 июня 1988 г.