

06.3; 12

© 1991

НИЗКОПРОГОВЫЕ ($I_n = 2.0$ мА, 300 К)
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ($\eta_{ext} = 68\%$)
AlGaAs-ГЕТЕРОЛАЗЕРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ НТ ЖФЭ

В.М. Андреев, А.Б. Казанцев,
В.Р. Ларионов, В.Д. Румянцев,
В.П. Хвостиков

Методом низкотемпературной жидкофазной эпитаксии (НТ ЖФЭ) в последнее время получены *AlGaAs*-гетеролазеры полосковой геометрии с пороговыми токами (I_n) в миллиамперном диапазоне [1-2]. Снижение I_n в этих работах было достигнуто благодаря уменьшению пороговой плотности тока (j_n) в лазерах на основе гетероструктур с квантово-размерной активной областью при малой длине (L) резонатора ($j_n = 250-400$ А·см⁻² при $L = 200-100$ мкм соответственно) [3]. Минимальное значение $I_n = 1.3$ мА в лазерах без отражающих покрытий на гранях резонатора получено [2] при боковом ограничении области протекания тока в полоске шириной ≈ 1 мкм, осуществленном благодаря зарастиванию пассивных областей широкозонными слоями *AlGaAs* методом ЖФЭ.

Низкие значения $I_n = 1.8-5.5$ мА в лазерах без зеркальных покрытий на гранях резонатора [4-7] достигнуты также при их изготовлении на основе *AlGaAs*-гетероструктур, полученных методом молекулярно-пучковой эпитаксии [4-7]. Боковое ограничение области протекания тока в полосках шириной 1-2 мкм в этих лазерах осуществлялось различными методами: зарастиванием пассивных областей методом ЖФЭ [4], эпитаксиальным выращиванием лазерных структур на профилированных подложках [5, 6], протонной бомбардировкой пассивных областей [5] и диффузией кремния в пассивные области [7]. При нанесении отражающих покры-

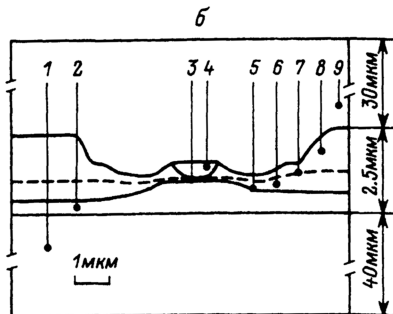
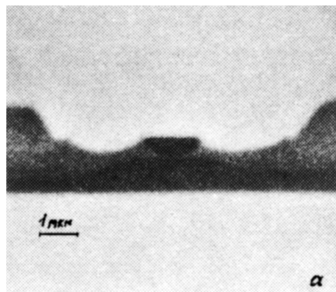


Рис. 1. Фотография скола выращенной гетероструктуры (а) и графическое изображение данного скола (б): 1 - подложка n^+GaAs , 2 - первый эмиттер $n-Al_{0.7}Ga_{0.3}As$, 3 - активная волноводная область, включающая слои $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ (150 нм), $Al_{0.02}Ga_{0.98}As$ (15 нм) и $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ (150 нм), 4 - второй эмиттер $p-Al_{0.75}Ga_{0.25}As$, 5 - граница травления мезы расплавом во втором процессе эпитаксии, 6 - слой $p-Al_{0.35}Ga_{0.65}As$, 7 - р-п переход в $Al_{0.35}Ga_{0.65}As$, 8 - слой $n-Al_{0.35}Ga_{0.65}As$, 9 - слой p^+GaAs толщиной 30 мкм.

тий на зеркала резонатора значение I_n снижалось до 0.55–0.65 мА [4, 6]. Максимальные значения дифференциальной квантовой эффективности η_{ext} на оба зеркала составили 63% [5] и 66% [6]. О ресурсе работы лазеров в упомянутых работах не сообщается.

В настоящей статье приводятся результаты исследований излучательных характеристик и ресурсов работы низкопороговых высокоэффективных „зарощенных“ $AlGaAs$ -лазеров, с квантово-размерной активной областью толщиной $d_a = 15$ нм и шириной области протекания тока ≈ 1 мкм. Выращивание структур и последующее их зарощивание осуществлялось методом ЖФЭ. Особенностью исследованных лазеров является большая толщина (≈ 30 мкм) контактного слоя p^+GaAs . При общей толщине лазерной пластины ≈ 80 мкм активная область оказывается расположенной приблизительно в центре структуры. Как было показано в работе [8], в таком „симметричном“ лазере существенно уменьшается изгиб структуры и компенсируются механические растягивающие напряжения в активной области, что обеспечивает увеличение ресурса работы лазеров.

Лазерные структуры выращивались в три стадии.

В течении первого процесса НТ ЖФЭ при температурах $T < 600$ °С изготавливалась планарная лазерная структура. На подложке n^+GaAs (1, рис. 1, б) последовательно кристаллизовались слои: $n-Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ (2) толщиной 0.8 мкм, волноводная область (3) толщиной 0.3 мкм, включающая активную область $Al_{0.02}Ga_{0.98}As$ толщиной 15 нм, расположенную между двумя слоями $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$, второй широкозонный эмиттер $p-Al_{0.75}Ga_{0.25}As$

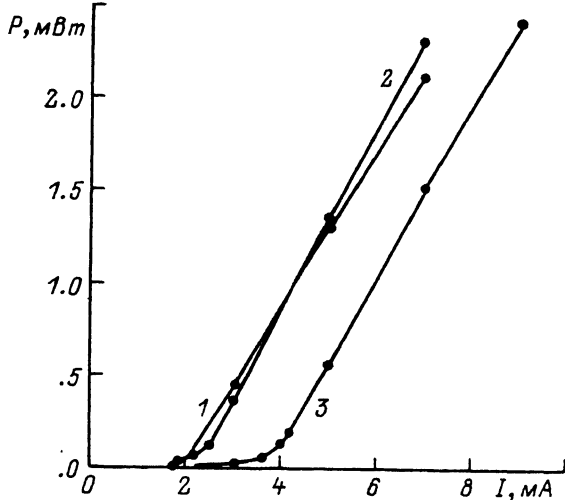


Рис. 2. Ватт-амперные характеристики трех лазеров с различной длиной резонатора L : 1 - $L = 100$ мкм, $I_{\pi} = 2.0$ мА, $\lambda_r = 815$ нм, $\eta_{ext} = 54\%$; 2 - $L = 270$ мкм, $I_{\pi} = 2.3$ мА, $\lambda_r = 817$ нм, $\eta_{ext} = 68\%$; 3 - $L = 620$ мкм, $I_{\pi} = 3.9$ мА, $\lambda_r = 821$ нм, $\eta_{ext} = 66\%$.

(4) толщиной 0.5 мкм и тонкий слой p^+GaAs (0.2 мкм) [1].

Во втором процессе эпитаксии структура с предварительно нанесенными полосками SiO_2 шириной 4-6 мкм вытравливалась расплавом $Ga + Al$ приблизительно до середины слоя $n-Al_{0.27}Ga_{0.23}As$ (граница травления 5 на рис. 1, б). При этом за счет бокового травления ширина области протекания тока уменьшалась до ≈ 1 мкм. Затем осуществлялась кристаллизация двух слоев: $p-Al_{0.35}Ga_{0.65}As$ (6) и $p-Al_{0.35}Ga_{0.65}As$ (8). Образующийся р-п переход имеет полярность, противоположную полярности лазерного р-п перехода, что обеспечивает протекание тока только через активную область шириной ≈ 1 мкм [2].

После удаления маски из SiO_2 проводился третий процесс ЖФЭ, во время которого наращивался сплошной толстый (≈ 30 мкм) сильнолегированный слой p^+GaAs .

Перед нанесением омических контактов структура утоньшалась со стороны подложки до общей толщины 70-80 мкм. Ранее при утончении "обычных" лазерных структур с тонким (< 1 мкм) слоем p^+GaAs нами наблюдался изгиб пластин. В данной работе изгиба не наблюдалось, что свидетельствует о существенном снижении механических напряжений растяжения в активной области. Из полученных таким способом пластин после нанесения омических контактов выкалывались лазерные диоды с различной длиной резонатора. Измерения проводились в непрерывном и импульсном ($\tau = 1$ мкс) режимах в прижимном контакте без напайки лазеров на теплоотвод.

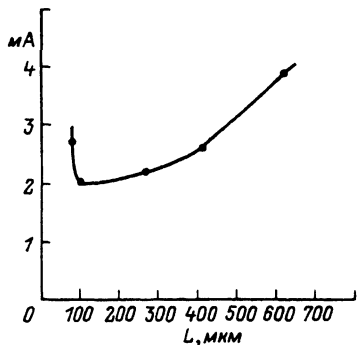


Рис. 3. Зависимость порогового тока I_{th} лазеров от длины резонатора.

На рис. 2 приведены измеренные в импульсном режиме ватт-амперные характеристики трех лазеров с различной длиной (L) резонатора 100, 270 и 620 мкм. Пороговые токи для данных лазеров составили соответственно 2,0, 2,3 и

3,9 мА при значениях дифференциальной эффективности $\eta_{ext} = 54, 68$ и 66% , рассчитанных на оба зеркала. Последние два значения соответствуют лучшим опубликованным данным [5, 6]. Исследование зависимости I_{th} от длины резонатора показало (рис. 3), что минимальное значение $I_{th} = 2,0$ мА достигается в достаточно коротких лазерах при $L = 100$ мкм. Длина волны генерации смещалась в коротковолновую область от 821 до 815 нм при уменьшении L от 620 до 100 мкм.

Весьма важным является выяснение ресурса работы полученных лазеров в непрерывном режиме при комнатной температуре. Для оценки срока службы лазеров использовалась методика ускоренной деградации при повышенной температуре ($55-60^\circ\text{C}$) р-п перехода. Испытания проводились на постоянном токе в атмосфере сухого азота при начальной выходной мощности излучения $P = 2$ мВт (с одного зеркала). Испытывались лазеры с пороговыми токами $I_{th} = 6-8$ мА при комнатной температуре. При температуре $55-60^\circ\text{C}$ пороговые токи возрастали до $10-12$ мА, а при выходной мощности 2 мВт величина тока составляла $16-20$ мА. Регистрировалось изменение выходной мощности излучения от времени при неизменной величине рабочего тока. К моменту написания данной статьи лазеры проработали в непрерывном режиме более 500 часов без уменьшения выходной мощности (колебания мощности составили $\pm 5\%$, что было вызвано некоторой нестабильностью температуры р-п перехода). Экстраполяция полученных данных на комнатную температуру дает прогнозируемый срок службы не менее 10 тысяч часов.

Таким образом, в данной работе методом трехстадийной ЖФЭ получены зарощенные полосковые лазеры с пороговым током 2,0 мА и дифференциальной эффективностью $\eta_{ext} = 68\%$, что соответствует лучшим опубликованным значений I_{th} и η_{ext} в лазерах без напыления отражающих покрытий на сколы. Расчет показывает, что при нанесении отражающих покрытий на грани резонатора пороговый ток в исследованных лазерах может быть снижен до величины менее 0,5 мА. Увеличение толщины контактного слоя p^+GaAs до ≈ 30 мкм в таких лазерах, работающих при малых токах, не приводит к росту температуры р-п перехода и, обеспе-

чивая компенсацию напряжений растяжения в активной области, оказывает положительное влияние на срок службы.

В заключение авторы выражают благодарность В.Ю. Аксенову за помощь в эксперименте, О.В. Салате за проведение измерений на электронном сканирующем микроскопе, Е.М. Танклевской за проведение фотолитографической обработки структур и Ж.И. Алферову за поддержку данной работы.

С п и с о к п и т е р а т у р ы

- [1] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Аксенов В.Ю., Налет Т.Н., Фыонг Н.Т., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 22. С. 2057-2060.
- [2] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Меруцэ А.З., Сырбу А.В., Суручану Г.И., Яковлев В.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 9. С. 41-44.
- [3] 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. 1775-1779.
- [4] Lau K.Y., Derry P.L., Yariv A. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 2. P. 88-90.
- [5] Карон Е., Yun C.P., Harbison J.P., Florez L.T., Stoffel N.G. // Electron Lett. 1988. V. 24. N 16. P. 985-986.
- [6] Marclay E., Arent D.J., Harder C., Meier H.P., Walter W., Webb D.J. // Electron Lett. 1989. V. 25. N 14. P. 892-893.
- [7] Sugimoto M., Hamano N., Takano N., Asakawa K., Yuasa T. // Japan Appl. Phys. 1989. V 28. N 6. P. 1013-1015.
- [8] Hayakawa T., Miyauchi N., Yamamoto S., Nayashi H., Yano S., Hijikata T. // Appl. Phys. Lett. 1983. V. 42. N 1. P. 23-24.

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

Поступило в Редакцию
29 ноября 1990 г.