

ЗАРОШЕННЫЕ НЕПРЕРЫВНЫЕ  $InGaAsP/InP$   
 ( $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$ ) ЛАЗЕРЫ РАЗДЕЛЬНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ  
 ( $J = 360 \text{ А/см}^2$ ,  $P = 360 \text{ мВт}$ ,  $T = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Д.З. Гарбузов, С.В. Зайцев,  
 В.И. Колышкин, М.М. Кулагина,  
 И.А. Мокина, А.Б. Нивин,  
 А.В. Овчинников, И.С. Тарасов

В предыдущих работах [1, 2] были описаны мезаполосковые лазеры на основе  $InGaAsP/InP$  жидкофазных гетероструктур раздельного ограничения с тонкими ( $d_a < 500 \text{ \AA}$ ) активными областями.

Мезаполосковая конструкция лазеров удобна для определения таких параметров исходных структур, как пороговая плотность тока и дифференциальная эффективность. В практических применениях такие лазеры могут быть использованы как многомодовые источники излучения.

Зарошенные  $InGaAsP/InP$  лазеры являются одним из наиболее распространенных вариантов конструкций одномодовых излучателей [3, 4]. Исходные гетероструктуры, использованные в данной работе для изготовления зарошенных лазеров, не отличались существенно от описанных ранее [2]. Зонная схема структуры раздельного ограничения показана на рис. 1, А.

После нанесения слоя  $SiO_2$  и фотолитографической обработки на структурах вытравливались мезы с конфигурациями, изображенными на рис. 1, б. Варьирование времени травления мезы позволяло менять ширину активной области ( $W$ ) от 3 до 17 мкм.

Зарачивание мезы последовательно слоями фосфида индия р- и п-типа производилось сразу же после „мелкого“ травления недонасыщенным расплавом  $In-Ga-As$ . Достаточно низкая температура зарачивания ( $595 \text{ }^\circ\text{C}$ ) позволяла прецизионно контролировать толщины выращиваемых слоев. Процесс зарачивания заканчи-

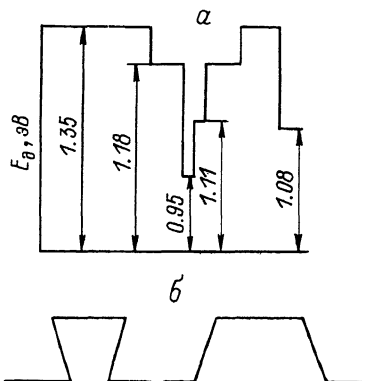


Рис. 1. а) Схематическое изображение зонной диаграммы лазерной гетероструктуры раздельного ограничения. б) Конфигурации мез, получаемых химическим травлением.

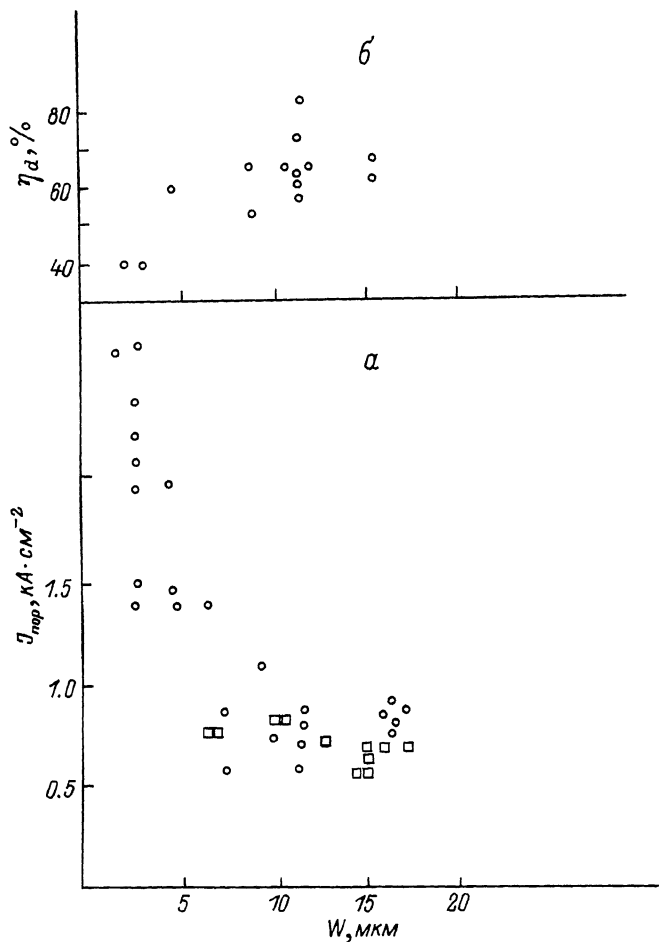


Рис. 2. а) Зависимость пороговой плотности тока от ширины активной области (точки - для зарощенных полосковых лазеров, квадраты - для лазеров мезаполосковой конструкции). б) Зависимость дифференциальной квантовой эффективности от ширины активной области в зарощенных полосковых лазерах.

вался осаждением слоя  $\text{In}_{0.89}\text{Ga}_{0.11}\text{As}_{0.23}\text{P}_{0.77}$ , обеспечивающего лучшую планарность структуры в районе мез.

Для обеспечения непрерывного режима генерации лазеры напаявались при помощи индиевого припоя на теплоотводы из меди эпитаксиальными слоями вниз. При измерениях медный теплоотвод охлаждался до температуры  $18^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$  при помощи микрохолодильника.

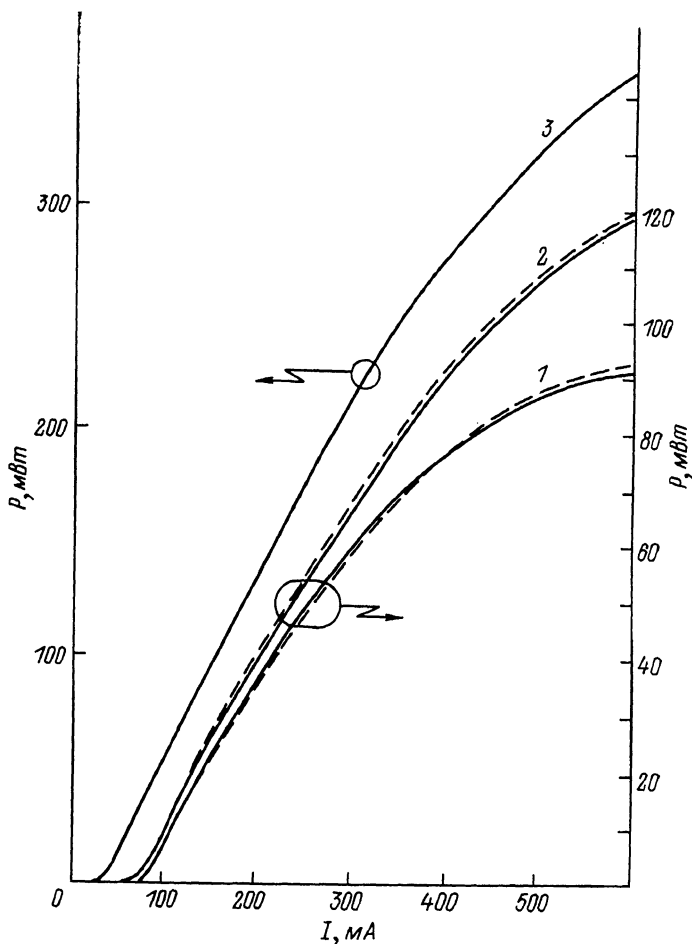


Рис. 3. Ватт-амперные характеристики зарощенных полосковых лазеров. Сплошные кривые - непрерывный режим генерации, штриховые - импульсный.

1 - Р - 933 - 37,  $W = 3$  мкм; 2 - Р - 932 - 19,  $W = 5$  мкм; 3 - Р - 1045 - 62,  $W = 12.0$  мкм с диэлектрическим покрытием на одном из зеркал.

Импульсные измерения проводились также и для ненапаянных лазеров.

Целью данной работы было сопоставление параметров зарощенных лазеров с различной шириной активной области. На рис. 2, а приведены пороговые плотности тока для лучших образцов зарощенных лазеров с длинами резонаторов  $L \geq 1$  мм и различными  $W$ .

Толщины активной области в соответствующих структурах находились в пределах 120–250 Å; влиянием этого параметра на  $J$  в первом приближении можно было пренебречь. Квадратами на рис. 2, а показаны величины плотностей токов для наиболее низкороговых мезаполосковых (МП) лазеров с большой шириной активной области ( $W = 7\text{--}17$  мкм). Видно, что рекордные значения  $J$  для зарощенных лазеров с большими  $W$  ( $360 \text{ А/см}^2$ ) близки к значениям  $J$  для мезаполосковых лазеров и определяются, по-видимому, свойствами исходных структур. При уменьшении  $W$  пороговая плотность тока в зарощенных полосковых (ЗП) лазерах быстро возрастает, видимо, вследствие увеличения тока утечки через изолирующий р-р-переход в районе мезы. На рис. 2, б приведены максимальные значения дифференциальной квантовой эффективности ( $\eta_d$ ) для рассматриваемых лазеров с различными  $W$ . Здесь тоже очевидна тенденция к ухудшению параметров ЗП лазеров с уменьшением  $W$ . Показанные на рис. 2, б значения  $\eta_d$  относятся к наиболее крутым начальным участкам импульсных ватт-амперных характеристик. Сопоставление ватт-амперных характеристик, приведенных на рис. 3, показывает, что для лазеров с малым  $W$  крутизна ватт-амперных характеристик заметно уменьшается при возрастании тока. Сравнение с результатами импульсных измерений показывает, что падение  $\eta_d$  с током в образцах с малым  $W$  не связано с перегревом активных областей.

Как видно из рис. 3, наибольшая мощность непрерывного излучения (360 мВт) была получена для одного из ЗП лазеров с  $W = 12$  мкм, имевшего диэлектрическое отражающее покрытие  $Si/SiO_2$  на втором зеркале. Мощность на микрон ширины активной области в этом лазере составляла 30 мВт, а дифференциальная эффективность на одно зеркало достигала 83%. Пороговый ток и пороговая плотность тока составляли 37 мА и  $750 \text{ А/см}^2$  при длине резонатора 400 мкм. Коэффициент полезного действия достигал максимального значения 42% при токе 200 мА.

Для лазеров с шириной рабочей области  $W = 3$  мкм максимальная мощность непрерывного излучения составила около 90 мВт. При наличии диэлектрических зеркал в таких лазерах реально было бы получение мощностей, близких к рекордным, полученным для одномодовых излучателей в недавней работе японских авторов [5].

Кроме токовых утечек недостатком описываемых зарощенных лазеров является нестабильность дальнего поля излучения, связанная главным образом с неоднородностями в ширине рабочей области. Эти неоднородности могут быть причиной дополнительных потерь, так же ухудшающих свойства ЗП лазеров с малым  $W$ .

Температурные исследования, выполненные для нескольких ЗП лазеров с  $W = 8$  мкм, показали, что они способны работать до  $T = 90$  °С и излучать при такой температуре мощность 10–15 мВт.

Результаты испытаний на срок службы для одного из ЗП-лазеров с  $W = 5$  мкм показаны на рис. 4. После наработки в режиме поддержания постоянной мощности излучения около 70 мВт в течение  $10^3$  часов изменение рабочего тока (300 мА) оказалось в пределах погрешности измерений ( $\pm 0.5$  мА).

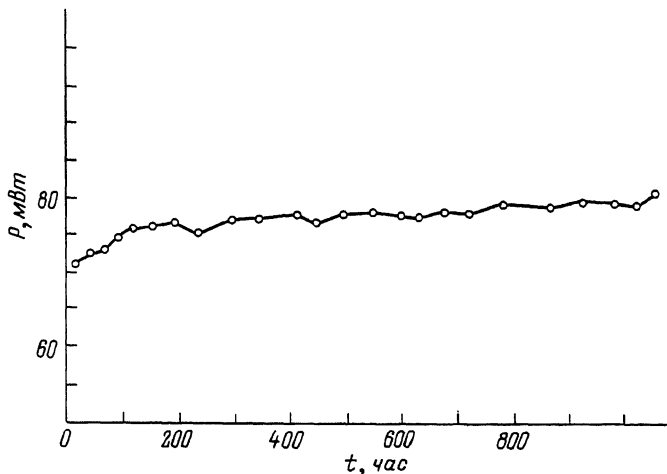


Рис. 4. Результаты испытания срока службы зарощенного полоскового лазера, проводившиеся в режиме поддержания постоянной мощности ( $P = 932-18$ ,  $W = 5$  мкм,  $P = 70$  мВт,  $T = 20$  °С).

Таким образом, результаты первых исследований зарощенных *InGaAsP/InP* лазеров позволяют заключить, что использованный вариант изоляции обратным р-п-переходом дает возможность получить при ширине рабочей области  $W \approx 10$  мкм полосковые лазеры с рекордными параметрами ( $J = 360$  А/см<sup>2</sup>,  $P = 360$  мВт), мощностные характеристики которых определяются свойствами исходных структур. Несвершенство использованной технологии изготовления полосков оказывает определяющее влияние на параметры лазеров с  $W < 8$  мкм. Тем не менее очевидно, что даже без снижения токов утечки таким методом возможно изготовление одномодовых излучателей с непрерывной мощностью излучения порядка 100 мВт.

В заключение авторы благодарят Т.А. Налет за помощь в изготовлении образцов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З., Давидюк Н.Ю., Ильинская Н.Д., Нивин А.Б., Овчинников А.В., Тарасов И.С. - Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, в. 22, с. 1345-1349.
- [2] Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Нивин А.Б., Овчинников А.В., Тарасов И.С. ФТП, 1987, т. 21, в. 5, с. 824-829.
- [3] Безотосный В.В., Долгинов Л.М., Елисеев П.Г., Мильвидский М.Г., Свердлов

лов Б.Н., Шевченко В.Г., Шешкова Г.В. -  
Квантовая электроника, 1980, т. 7, № 9, с. 1990-1992.

[4] Hsieh J.J., Shen G.C. - Appl. Phys. Lett.,  
1977, v. 30, N 8, p. 429-431.

[5] Matoba A., Oshiba S., Hozikawa  
H., Imanaka K., Kawai Y. -  
ЮОС-ЕСОС 85, Venezia, 1985, p. 148-149.

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

Поступило в Редакцию  
27 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

## ЭФФЕКТИВНЫЙ ЛАЗЕР НА СЕЛЕНИДЕ ЦИНКА, РАБОТАЮЩИЙ ПРИ $T = 300$ К

В.Я. Жулай, Т.Ю. Иванова,  
Н.Н. Костин, Е.М. Красавина,  
И.В. Крюкова, В.А. Новожилов,  
Г.Т. Петровский

Последнее время достигнуты определенные успехи в создании мощных импульсных неохлаждаемых полупроводниковых лазеров с накачкой электронным пучком [1]. Особый интерес представляют лазеры на основе соединений  $A^2B^6$ , излучающие в сине-зеленой области спектра. Эти кристаллы также используются для создания лазерных экранов в электронно-лучевых трубках, на основе которых создаются системы проекционного телевидения [2]. Однако, если на лучших образцах сульфида кадмия при  $T = 300$  К ( $\lambda_r = 525$  нм) достигнуты КПД лазера 8-10% [1] (продольная геометрия накачки), то на кристаллах селенида цинка ( $\lambda_r = 475$  нм) значения КПД оказались более низкими. Это связано с меньшим внутренним квантовым выходом излучения кристаллов селенида цинка, обусловленных несовершенством методов получения этого материала. Обычно кристаллы селенида цинка (независимо от способа их выращивания) имеют проводимость п-типа. Но они оказываются сильно компенсированными и высокоомными за счет высокой концентрации акцепторов, обусловленных присутствием большого числа вакансий цинка. Известным способом залечивания этих дефектов является отжиг в цинке [3] (в жидкой или газообразной фазе). В [2] показано, что отжиг кристаллов селенида цинка в жидком цинке (температура отжига 950 °С) позволил повысить КПД лазерных электронно-лучевых трубок, работающих при охлаждении жидким азотом, до 8-10%. Однако при комнатной температуре лазерное излучение было получено только на отдельных образцах с КПД не выше 3%.