

06.3

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  $InGaAsP/GaAs$   $\langle 111 \rangle$   
 ЖФЭ-ЛАЗЕРОВ ( $\lambda = 0.8$  мкм),  
 ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ НАКАЧКИ  $YAG: Nd^{3+}$

И.Н. Арсентьев, Г.Р. Бежанишвили,  
 П.П. Буинов, Л.С. Вавилова,  
 Н.А. Стругов, В.П. Чалый,  
 А.П. Шкурко

В работах [1-3] описаны непрерывные инжекционные гетеролазеры раздельного ограничения, полученные модифицированным методом жидкофазной эпитаксии [1] на основе системы  $InGaAsP/GaAs$  ( $\lambda = 0.73-0.86$  мкм). В данном сообщении приводятся первые результаты, касающиеся попыток изготовления таких лазеров с точно заданным значением ( $\lambda = 808 \pm 1.5$  нм) длины волны излучения с целью использования их в системе накачки твердотельных излучателей на основе АИГ:  $Nd^{+3}$ . Пока что подобные системы накачки изготавливают только с применением лазеров в традиционной системе  $AlGaAs/GaAs$ , однако не исключено, что в дальнейшем  $InGaAsP/GaAs$  лазеры также найдут себе применение при создании подобных систем.

Режимы изготовления и параметры исследованных в данной работе лазеров не отличались от описанных в [3]. Лазерные гетероструктуры выращивались на  $GaAs$  подложках размерами  $10 \times 15$  мм с ориентацией  $\langle 111 \rangle$  и состояли из эмиттерных слоев  $In_{0.5}Ga_{0.5}P$ , нелегированных волноводных слоев  $In_{0.43}Ga_{0.57}As_{0.14}P_{0.86}$  ( $E_g = 1.82$  эВ) и  $In_{0.15}Ga_{0.85}As_{0.7}P_{0.3}$  активной области.

Суммарная толщина волноводных слоев была около 0.5 мкм. Толщина активной области была порядка 250-300 Å, так что квантово-размерные эффекты не оказали определяющего влияния на основные параметры данных лазеров.

Перед изготовлением лазерных диодов гетероструктуры проходили фотолюминесцентный контроль, при котором в 5-7 точках их поверхности в условиях низкого уровня возбуждения определялась длина волны в максимуме полосы люминесценции активной области ( $\lambda_\varphi$ ). Анализ фотолюминесцентных исследований, выполненных на пятидесяти структурах, выращенных в аналогичных технологических режимах, показал, что только для 20% структур усредненная по поверхности структуры величина  $\lambda_\varphi$  находится в диапазоне значений  $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$ , удовлетворяющем эффективному согласованию лазерных диодов с кристаллом АИГ:  $Nd^{+3}$ .

Однако при этом вследствие разброса значений  $\lambda_\varphi$  по поверхности структуры  $\Delta\lambda_\varphi$  можно было ожидать, что только часть из изготовленных из данной структуры диодов будет обеспечивать

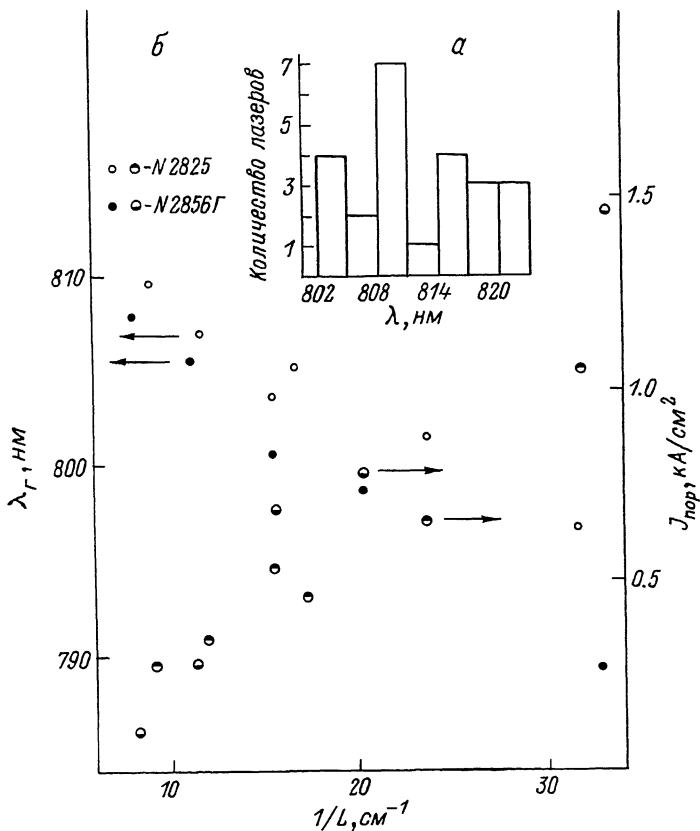


Рис. 1. а) Распределение по длинам волн генерации диодов с длиной резонатора 1.3÷1.5 мм из партии № 2649 Г. б) Зависимость положения максимума полосы генерации (кружки) и пороговой плотности тока (треугольники) от обратной длины резонатора для лазерных диодов из партий 2825 и 2856 Г.

выполнение условий согласования. Анализ величин  $\Delta\lambda_{\phi}$  показал, что около 60% структур имеют разброс  $\Delta\lambda_{\phi}$  меньше 6 нм, 40% - меньше 5 нм и 20% - меньше 2 нм.

После фотолюминесцентных исследований из структур с использованием простейшего варианта оксидной изоляции ( $\text{SiO}_2$ ) изготавливались полосковые лазеры с шириной полоска 100 мкм. Для большинства из этих лазеров длина резонатора  $L$  находилась в пределах 1.5–0.6 мм, хотя из нескольких структур были изготовлены и более короткие диоды. Лазерные диоды напаивались полоском вниз на медный теплоотвод, на котором на расстоянии 2–3 мм от диода находилась термопара, обеспечивающая контроль темпера-

туры. Поддержание температуры осуществлялось термохолодильником, расположенным под лазерным теплоотводом.

Исследование спектрального распределения излучения изготовленных лазерных диодов показало, что их спектры излучения, как правило, состоят из нескольких не разрешенных полностью спектральных линий. Полученные спектры могут быть описаны полушириной ( $\lambda^{1/2}$ ) и положением максимума ( $\lambda_r$ ) их огибающей. Значения  $\lambda^{1/2}$  зависят от мощности излучения лазера и при мощности 0.5 Вт составляют  $20 \div 25 \text{ \AA}$ .

Величины  $\lambda_r$  для лазеров, изготовленных из одной партии, распределены в более широком диапазоне длин волн, чем тот, который соответствует разбросу длины волны при фотолюминесцентных исследованиях исходной структуры.

На рис. 1,а показано распределение числа диодов по длинам волны генерации для 24 диодов, изготовленных из структуры №2649 Г. Все диоды имели длину резонатора в диапазоне  $1.3 < L < 1.5 \text{ мм}$ . Запись спектров осуществляли в непрерывном режиме генерации при мощности излучения 300–400 мВт и токах через диод около 1.5 А.

Исследование зависимости  $\lambda_r$  от тока накачки показало, что при соответствующих рабочих плотностях тока ( $1 \approx 1.5\text{--}2 \text{ кА/см}^2$ ) максимум полосы генерации смещен на 1.5–2 нм в длинноволновую область по сравнению с  $\lambda_r$  вблизи порога генерации.

Измерения зависимости  $\lambda_r = f(I)$  в режиме коротких импульсов ( $\tau = 100 \text{ нс}$ ) не обнаруживает практически никаких изменений положения максимума генерации, что позволяет связать длинноволновый сдвиг  $\lambda_r$  в непрерывном режиме работы только с тепловыми эффектами. Если пренебречь градиентом температуры на участке теплоотвода между термопарой и лазером и считать, что все изменения  $\lambda_r$  связаны с перегревом активной области прибора по отношению к теплоотводу, то тепловое сопротивление приборов оказывается равным примерно 2 К/Вт. Малое тепловое сопротивление рассматриваемых диодов объясняется их большой рабочей площадью ( $0.1 \text{ мм}^2$ ) и является одним из их важных достоинств. Уменьшение длины диодов приводит к увеличению теплового сопротивления и снижает допустимые плотности рабочих токов. Тем не менее, изготовление более коротких лазерных диодов может оказаться в ряде случаев полезным. На рис. 1,б показана зависимость положения максимума полосы излучения на пороге генерации и пороговой плотности тока от длин резонатора для диодов, изготовленных из двух партий 2825 и 2856 Г. Измерения были выполнены при возбуждении импульсами длительностью 200 нс и частотой 1 кГц. Быстрое смещение положения  $\lambda_r$  в коротковолновую область при возрастании величины  $1/L$ , характеризующей потери на выход, связано с ростом пороговых плотностей токов, которые составляют для длинных диодов величины –  $300 \text{ А/см}^2$ , а для наиболее коротких –  $1.5 \text{ кА/см}^2$  [4]. Зависимость  $\lambda_r$  от потерь на выход позволяет значительно увеличить процент использования исходных структур путем подбора длины резонаторов или путем нанесения соответствующей

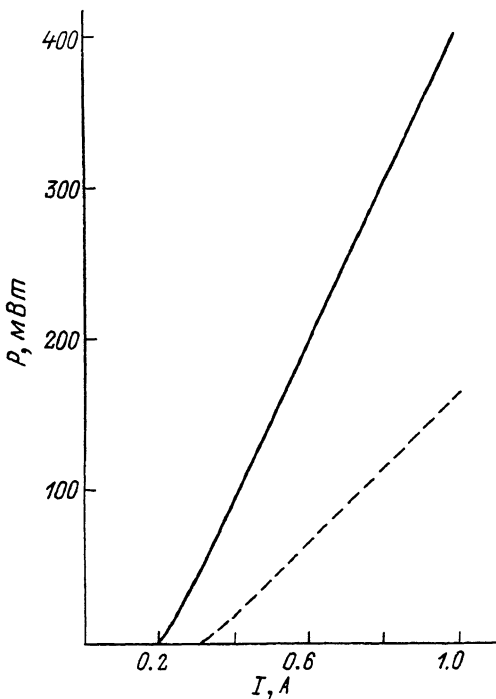


Рис. 2. Мощность излучения лазерного диода (сплошная кривая) из партии № 2669 Г, использованного для накачки; мощность излучения стержня АИГ:  $Nd^{+3}$  (пунктирная кривая) в зависимости от тока лазерного диода.

ющих отражающих или просветляющих покрытий на резонаторные грани лазеров.

На рис. 2 приведена ватт-амперная характеристика одного из лазерных диодов, у которых  $\lambda_r = 0.807$  при  $t = 15^\circ C$  и показана зависимость мощности излучения активного элемента АИГ:  $Nd^{+3}$  при торцевой накачке этим лазерным диодом. Система накачки имела традицион-

ную схему и состояла из лазерного диода, фокусирующего объектива, стержня АИГ:  $Nd^{+3}$  (длиной 10 мм, диаметром 4 мм) с нанесенными на один торец зеркалом, а на другой — просветляющим покрытием на  $\lambda = 1064$  нм и выходного зеркала с коэффициентом отражения 98% и радиусом кривизны 166 мм. В данных экспериментах по накачке не ставилось задач получения высоких мощностей и КПД системы, поскольку диоды не имели отражающих покрытий и полезно использовалась лишь половина излучаемой мощности. Цель экспериментов заключалась в оценке возможности эффективного использования излучения  $InGaAsP/GaAs$  диодов для накачки АИГ:  $Nd^{+3}$ . Полученные значения дифференциальной эффективности накачки ( $\approx 35\%$ ) соответствуют результатам аналогичных экспериментов с  $AlGaAs/GaAs$  лазерными диодами и говорят о перспективности дальнейших работ в данном направлении.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алфёров Ж.И., Арсентьев И.Н., Вавилова Л.С., Гарбузов Д.З., Красовский В.В. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 9. С. 1655-1658.
- [2] Гарбузов Д.З., Арсентьев И.Н., Вавилова Л.С., Тикуннов А.В., Тулашвили Э.В. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 1. С. 136-138.

- [3] Алферов Ж.И., Антонишкис Н.Ю., Арсентьев И.Н., Гарбузов Д.З., Колышкин В.И., Налет Т.А., Стругов Н.А., Тикуннов А.В. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1031-1034.
- [4] Гарбузов Д.З., Тикуннов А.В., Жигулин С.Н., Соколова З.Н., Халфин В.Б. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1035-1039.

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

Поступило в Редакцию  
10 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 15

12 августа 1989 г.

06.3; 07

НИЗКОПОРОГОВЫЕ ЛАЗЕРЫ 3-3.5 мкм  
НА ОСНОВЕ ДГС  $InAsSbP/In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}Sb_y$

М. Айдаралиев, Н.В. Зотова,  
С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев,  
Н.М. Стусь, Г.Н. Талалакин

Полупроводниковые лазеры в области 3-4 мкм вызывают в настоящее время повышенный интерес в связи с перспективой их применения в оптических линиях связи, газоаналитической аппаратуре и др.

В работе [1] сообщалось о получении низкопорогового стимулированного излучения  $\lambda = 3$  мкм в ДГС  $n-InAsSbP(n-InAs)$   $p-InAsSbP$ , полученных методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложках  $InAs(111)A$ . Интерес к дальнейшему исследованию этой структуры вызван, во-первых, тем, что на ней впервые была получена непрерывная генерация  $\lambda = 3.1$  мкм (77 К), во-вторых, возможностью получения более длинноволнового излучения при дообавлении в активную область атомов сурьмы [2] и галлия [3].

Исследовались структуры, в которых активная область состояла из нелегированных слоев  $n-InAs$ ,  $n-InAs_{0.93}Sb_{0.07}$ ,  $n-In_{0.98}$ ,

$Ga_{0.02}As$ ,  $n-In_{0.93}Ga_{0.07}As_{0.935}Sb_{0.065}$ . Ограничива-

ющие широкозонные слои  $n$ - и  $p-InAs_{1-x-y}Sb_xPy$  ( $0.05 \leq x \leq 0.062$ ;  $0.10 \leq y \leq 0.19$ ) с толщинами 3-5 мкм имели меньший, чем у активного слоя, показатель преломления ( $\Delta n = 0.02-0.05$ ).

В таблице приведены значения длины волны излучения, величины импульсного порогового тока ( $\tau = 5$  мкс,  $f = 500$  Гц) для лазеров с широким контактом ( $250 \times 300$  мкм<sup>2</sup>) и результаты рентгенотомографических измерений, которые для большинства