

06.3;07;12

©1995

## ПОЛОСКОВЫЕ ОДНОМОДОВЫЕ InGaAsP/InP ЛАЗЕРЫ, ИЗЛУЧАЮЩИЕ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 1.55 МКМ

*М.А.Иванов, Ю.В.Ильин, Н.Д.Ильинская, Ю.А.Корсакова,  
А.Ю.Лешко, А.В.Лунев, А.В.Лютецкий, А.В.Мурашова,  
Н.А.Пихтин, И.С.Тарасов*

Настоящая работа является продолжением цикла исследований по созданию мощных одномодовых лазеров раздельного ограничения в системе твердых растворов InGaAsP [1,2]. Основные успехи в этом направлении были достигнуты в полосковых лазерах зарощенной конструкции за счет увеличения объема активной среды резонатора лазерного диода [1,2]. Однако для получения одномодовых InGaAsP лазеров раздельного ограничения с двойной гетероструктурой (РОДГС) широко применяется простая и дешевая конструкция типа "мелкая меза" [3,4]. Эта конструкция идеальна для изготовления полосковых лазеров из лазерных гетероструктур с высокой степенью однородности, полученных методом газофазной из металлоорганических соединений (ГФМОС) и молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ).

Основной целью настоящей работы являлась разработка технологии изготовления полосковых лазеров типа "мелкой мезы" с использованием лазерных гетероструктур, полученных методом модифицированной жидкостной эпитаксии [5]. В наших экспериментах мы использовали лазерные гетероструктуры, зонная диаграмма которых приведена на рис. 1, а. В отличие от лазерных гетероструктур, полученных ГФМОС и МПЭ, в них наблюдались неконтролируемые изменения толщины верхнего эмиттера и контактного слоя в пределах  $\pm 0.5$  мкм. Поэтому мы вынуждены были отказаться от стандартно используемого метода ионно-плазменного травления при формировании мазалоска шириной  $W$  и применять операцию травления селективным химическим травителем. Использовался травитель с селективными свойствами в зависимости от состава твердых растворов InGaAsP [6]. В лазерную гетероструктуру между эмиттером и волноводом в случае РОДГС и между эмиттером и активной областью в случае ДГС помещался антистравливающий — стоп-слой (рис. 1, а, б). Это позволяло нам не-

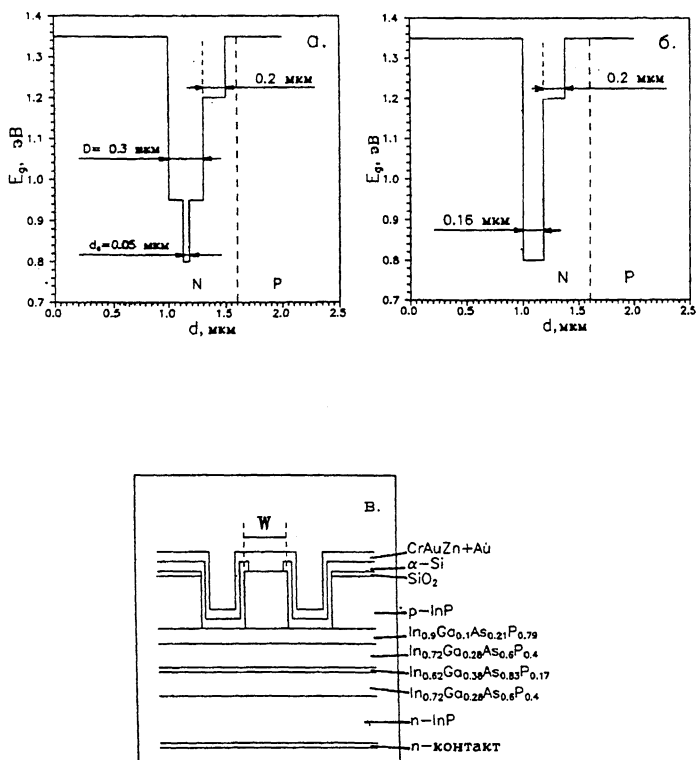


Рис. 1. Схематическое изображение зонной диаграммы лазерной гетероструктуры с отдельным ограничением (а), двойной гетероструктуры (б) и конструкция полоскового лазера типа "мелкая меза" (в).

зависимо от толщины верхнего эмиттера и контактного слоя останавливать травление на границе эмиттер-антистратравливающий слой. Состав стоп-слоя выбирался исходя из селективных свойств травителя и был в нашем случае  $\text{In}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.21}\text{P}_{0.79}$ , а толщина слоя 0.2–0.3 мкм — оптимальная для получения полосковой конструкции типа "мелкая меза" [4]. Для формирования мезаполоска наносилась маска из  $\text{SiO}_2$  низкотемпературным пиролизом и из фоторезиста AZ-1350, обеспечивающая проведение последующей операции взрывной фотолитографии рис. 1, в. Затем про-

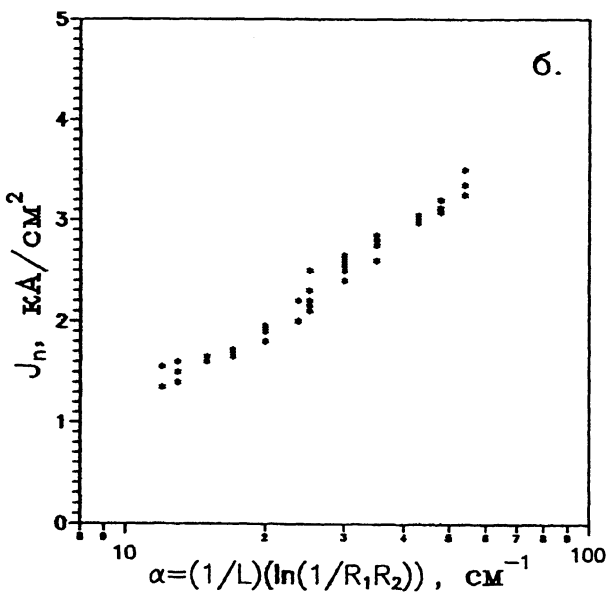
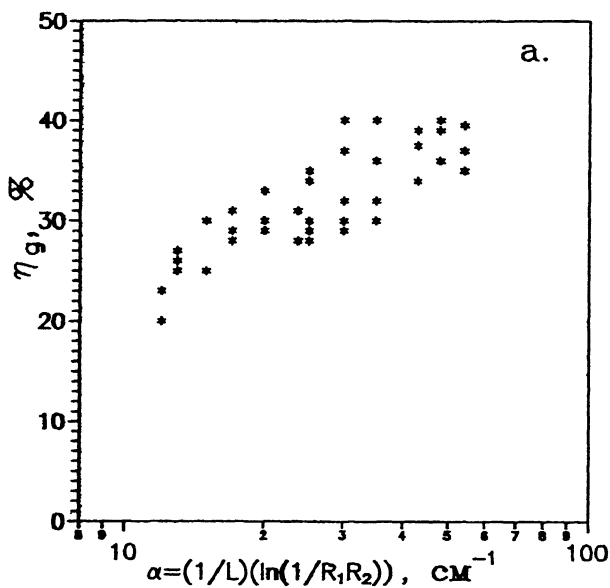


Рис. 2. Зависимость дифференциальной квантовой эффективности  $\eta_d$  (а) и пороговой плотности тока  $J_{пор}$  (б) от оптических потерь на выход.

водилась операция травления "мелкой мезы" до стоп-слоя и наносился изолирующий слой  $\alpha$ -Si магнетронным напылением, обладающий коэффициентом теплопроводности, в отличие от  $\text{SiO}_2$ . После этого удалялся слой фоторезиста и наносились омические контакты. Лазерные диоды монтировались на медные теплоотводы и на зеркала резонатора Фабри-Перо наносились просветляющие и высокоотражающие диэлектрические покрытия  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  [7]. В полученных лазерных диодах исследовались излучательные характеристики, что позволило получить зависимости пороговой плотности тока и дифференциальной квантовой эффективности от обратной длины резонатора (рис. 2, а, б). Исследовались лазерные диоды, изготовленные из структур отдельного ограничения и двойных гетероструктур (рис. 1, а, б). При используемых параметрах толщин активной области в ДГС  $d_a = 0.14-0.16$  мкм и  $d_a = 500-700$  Å в РОДГС различия в излучательных характеристиках от обратной длины резонатора обнаружено не было. Уменьшение толщины активной области в РО ДГС с ненапряженной активной областью приводило к сильному возрастанию процессов, связанных с Оже-рекомбинацией и поглощением в спин орбитально отщепленную подзону и было нецелесообразно.

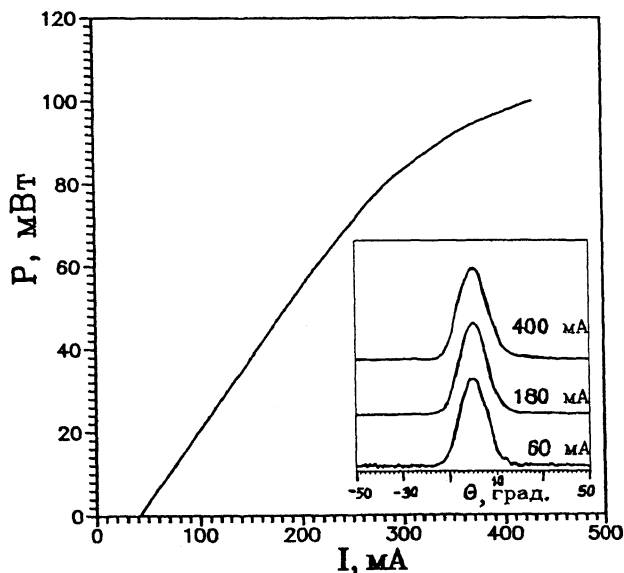


Рис. 3. Ватт-амперная характеристика полоскового лазера типа "мелкая меза" и картина дальнего поля в плоскости  $p-n$  перехода для различных значений тока накачки (вставка).

Максимальная оптическая мощность в лазерных диодах обоих типов гетероструктур достигалась при длине резонатора  $L = 700$  мкм с просветляющим и высокоотражающим покрытиями на торцах и составляла порядка 100 мВт в непрерывном режиме генерации (рис. 3). В таких лазерах сохранялась устойчивая генерация на основной поперечной моде во всем диапазоне токов накачки при ширине мезаполоска  $W \leq 5$  мкм (рис. 3, вставка).

Спектр излучения лазерных диодов имел многомодовую структуру продольных мод и расширялся как в длинноволновую, так и в коротковолновую область с увеличением тока накачки [8] (рис. 4).

На основе полученных лазерных диодов были изготовлены оптические модули. Для ввода излучения в одномодовое волокно применялось известное техническое решение с использованием фокона на торце металлизированного волокна [9]. Удавалось зафиксировать волокно в модуле, сохранив коэффициент ввода излучения в волокно более 50%. Измерение оптической мощности производилось на выходе одномодового волокна с оптическим разъемом.

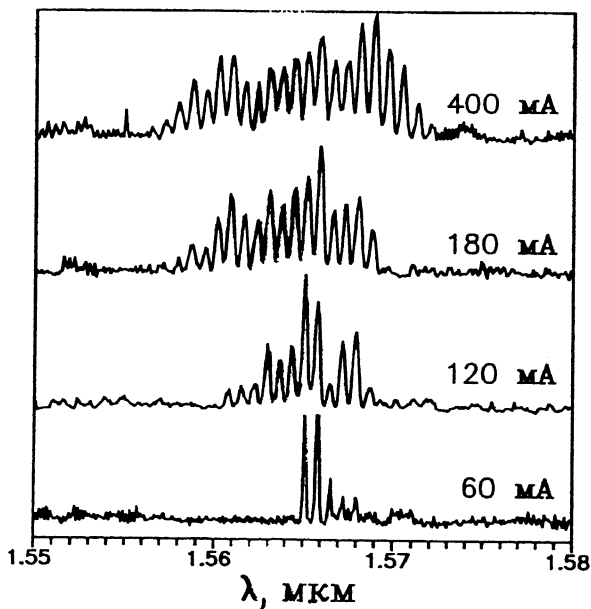


Рис. 4. Спектр излучения полоскового лазера типа “мелкая меза” при различных значениях тока накачки.

Таким образом, получены следующие результаты:

1. Разработана технология изготовления полосковых лазеров конструкции типа "мелкая меза" на основе лазерных гетероструктур, полученных методом жидкофазной эпитаксии с использованием селективного химического травителя и дополнительного антиотражающего стоп-слоя.

2. Получены одномодовые полосковые InGaAsP/InP лазерные диоды типа "мелкая меза", излучающие в непрерывном режиме 100 мВт на длине волны 1.55 мкм.

3. На базе InGaAsP/InP лазерных диодов изготовлены одномодовые оптические модули с коэффициентом ввода более 50%.

Авторы выражают благодарность за помощь в изготовлении образцов Т.Н. Дрокиной, Н.Ф. Кадошук, К.И. Кухаревой и Г.Б. Прокопенковой.

### Список литературы

- [1] Garbuzov D.Z., Berishev I.E., Pyin Yu.V., Pyinskaya N.D., Ovchinnikov A.V., Pikhin N.A., Tarasov I.S. // J. Appl. Phys. 1992. V. 72. N 1. P. 319-321.
- [2] Бородицкий М.Л., Гарбузов Д.З., Горбачев А.Ю., Ильинская Н.Д., Лившиц Д.А., Марынский Д.Н., Рафаилов Э.У., Станкевич А.Л., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 21. С. 78-84.
- [3] Taeckel H., Vona G.-L., Bushman P., Meier H.P., Vettiger P., Kozlousky W.J., Lenth W. // IEEE J. Quant. Electr. QE-27. 1991. V. 27. P. 1560-1564.
- [4] Бородицкий М.А., Дулькин А.Е., Кочнев И.В., Лившиц Д.А., Соколова Н.О., Рафаилов Э.У., Тарасов И.С., Шерняков Ю.М., Явич Б.С. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 6. С. 62-66.
- [5] Garbuzov D.Z., Arsenyev I.N., Ovchinnikov A.V., Tarasov I.S. // CLEO-88, 25-29 April 1988. Anaheim, Techn. Digest Series. V. 7. P. 396-398.
- [6] Koch T.L., Corrin P.T., Tsang W.T. // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. N 8. P. 3461-3463.
- [7] Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Ильин Ю.В., Налет Т.А., Овчинников А.В., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 9. С. 50-54.
- [8] Пизтин Н.А., Тарасов И.С., Иванов М.А. // ФТП. 1994. В печати.
- [9] Беришев И.Э., Гарбузов Д.З., Горбачев А.Ю., Ильин Ю.В., Ильинская Н.Д., Саулич А.Л., Рассудов Н.Л., Тарасов И.С. // I OC-92. 5-9 октября 1992. С-Петербург, Россия.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе РАН  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
29 декабря 1994 г.