

06.2;06.3;07

©1993

МОЩНЫЕ ОДНОМОДОВЫЕ ЗАРОЩЕННЫЕ InGaAsP/GaAs РО ДГС ЛАЗЕРЫ

*М.Л.Бородицкий, Д.З.Гарбузов,
А.Ю.Горбачев, Н.Д.Ильинская, Д.А.Лившиц,
Д.Н.Марьянский, Э.У.Рафаилов,
А.Л.Станкевич, И.С.Тарасов*

В настоящее время большой интерес представляют зарощенные лазеры, не содержащие Al. В работе [1] продемонстрирована возможность получения мощных одномодовых зарощенных InGaAsP/GaAs лазеров раздельного ограничения (РО) на основе технологических приемов и разработок, проведенных в [1-3]. Дальнейшие исследования и разработка зарощенных мезаполосковых РО InGaAsP/GaAs лазерных диодов повышенной мощности составляли цель данной работы.

Одномодовый режим генерации наблюдался в зарощенных мезаполосковых РО InGaAsP/GaAs лазерных диодах (рис.1, а) с шириной $W = 3.8\mu\text{m}$. При этом достигалась мощность излучения 170mW в нулевой поперечной моде в непрерывном режиме генерации [1]. Однако пороговая плотность тока и дифференциальная эффективность не соответствовали значениям величин этих параметров в лазерных диодах с широким контактом [4]. Поэтому были исследованы зависимости пороговой плотности тока J_{th} и дифференциальной эффективности η_d от ширины мезаполоска W . На рис. 2,а приведена зависимость J_{th} от W для РО InGaAsP/GaAs лазерных диодов. В отличие от аналогичной зависимости, представленной в [2,3] мы обнаружили возрастание пороговой плотности тока в 2-3 раза при уменьшении W менее $6\mu\text{m}$. В наших предыдущих исследованиях мы связывали это явление с безызлучательной рекомбинацией на границе мезаполоска и блокирующих зарощенных областей. Введение процесса металлического травления мезаполоска перед зарощиванием позволило уменьшить граничную рекомбинацию и как следствие уменьшить пороговую плотность тока [2,3]. На рис.2, б приведена зависимость η_d от W для РО InGaAsP/GaAs лазерных диодов. Отмечается падение η_d при сужении W менее $6\mu\text{m}$, что по наше-

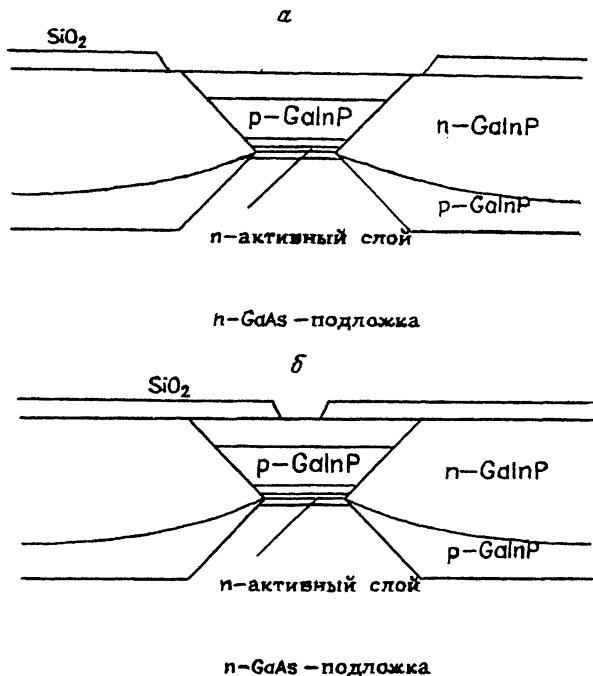


Рис. 1. Схема зарощенного лазера. а — с широко вскрытым контактом, б — с узко вскрытым контактом.

му мнению связано с возрастанием внутренних оптических потерь на границе мезаполоска блокирующих зарощенных областей [5]. Дальнейшее улучшение параметров однододовых зарощенных мезаполосковых РО InGaAsP/GaAs лазерных диодов связано с улучшением технологии зарощивания мезоструктуры, снижающей концентрацию безызлучательных центров рекомбинации на границе мезаполоска и блокирующих слоев, а также с улучшением планарности стенок мезаполоска для уменьшения внутренних оптических потерь в лазерных диодах.

Однако есть простой способ увеличения оптической мощности излучения лазерного диода, который позволяет сохранить генерацию нулевой поперечной моды в широком диапазоне токов накачки. Как известно, на пороге генерации в узких полосковых лазерах с $W < 15\mu\text{m}$ наблюдается генерация нулевой поперечной моды [6]. Это происходит по-

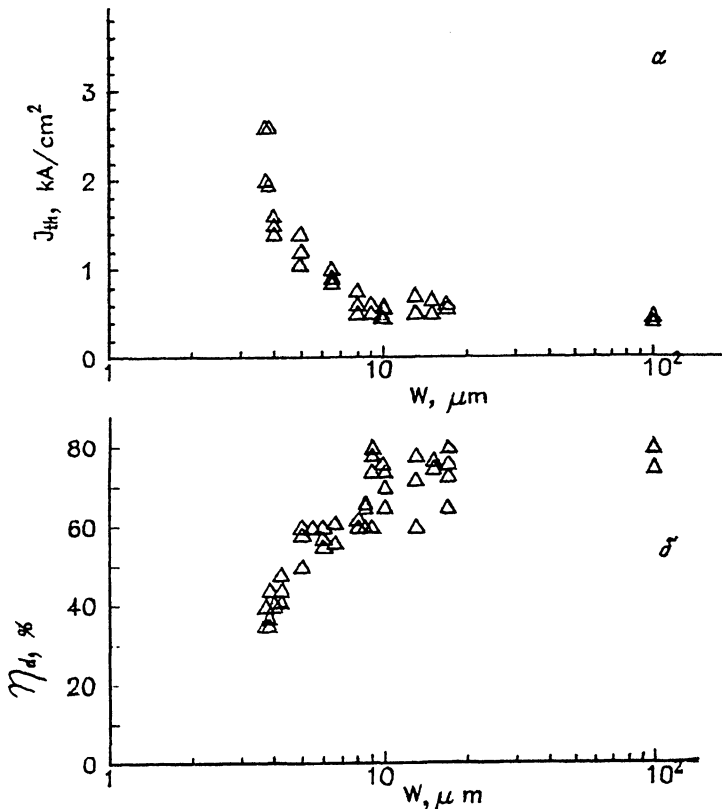


Рис. 2. *a* — зависимость пороговой плотности тока J_{th} от ширины мезы W , *б* — зависимость квантовой дифференциальной эффективности η_d от ширины мезы W .

тому, что максимум интенсивности нулевой моды пространственно совпадает с максимумом концентрации инжектированных носителей тока, а для следующих высших мод интеграл перекрытия относительно мал. По мере увеличения тока накачки происходит пространственное выжигание инжектированных носителей в максимуме нулевой моды, пространственно совпадающей с центром волновода лазерного диода, что приводит к возрастанию концентрации носителей тока в активной области, прилегающей к блокирующим областям лазерного диода. Таким образом, интеграл перекрытия распределения концентрации инжектированных носителей и моды высших порядков возрастает и происходит увеличение усиления высшей поперечной моды излучения. Если преднамеренно изменить профиль concentra-

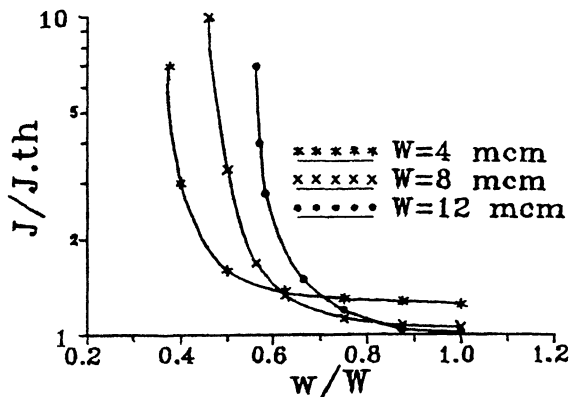


Рис. 3. Расчетная зависимость относительного тока I/I_{th} от относительной ширины контакта ω/W для лазерных диодов с различной шириной мезы W (доля нулевой моды составляет 0.7 от общей оптической мощности).

ции инжектированных носителей в активной области вблизи блокирующих слоев лазерного диода путем сужения полоскового контакта ω (рис. 1, б), можно подавить возникновение высших мод в широком диапазоне токов накачки. Мы рассмотрим конкуренцию нулевой и первой поперечных мод волновода лазерного диода. Точный расчет растекания инжектированных носителей тока под контактом весьма сложен. Поэтому мы воспользовались упрощенной моделью [7], полученной в предположении, что толщина эмиттера много меньше ширины инжектирующего контакта, и ввели параметр эффективной длины растекания инжектированных носителей. Если эффективная длина растекания инжектированных носителей меньше или сравнима с величиной $W - \omega$, можно получить значительную разницу концентраций под контактом и на краях волновода лазерного диода.

На рис. 3 приведена расчетная зависимость относительного тока I/I_{th} от относительной ширины контакта ω/W для лазерных диодов с различной шириной мезы W . При этом доля нулевой поперечной моды составляла 0.7 от общей мощности излучения лазерного диода. Видно, что значительное улучшение модового состава достигается при $W - \omega > 4 \mu m$. Для экспериментальной проверки полученных расчетных результатов были изготовлены зарощенные РО ДГС InGaAsP/GaAs лазерные диоды двух типов с широким вскрытием полоскового контакта (рис. 1, а) и с узким (рис. 1, б). Ширина мезаполоска W варьировалась от 3 до $15 \mu m$. В лазерах обоих типов конструкций исследовался модовый состав излучения по расходимости излучения в дальней зо-

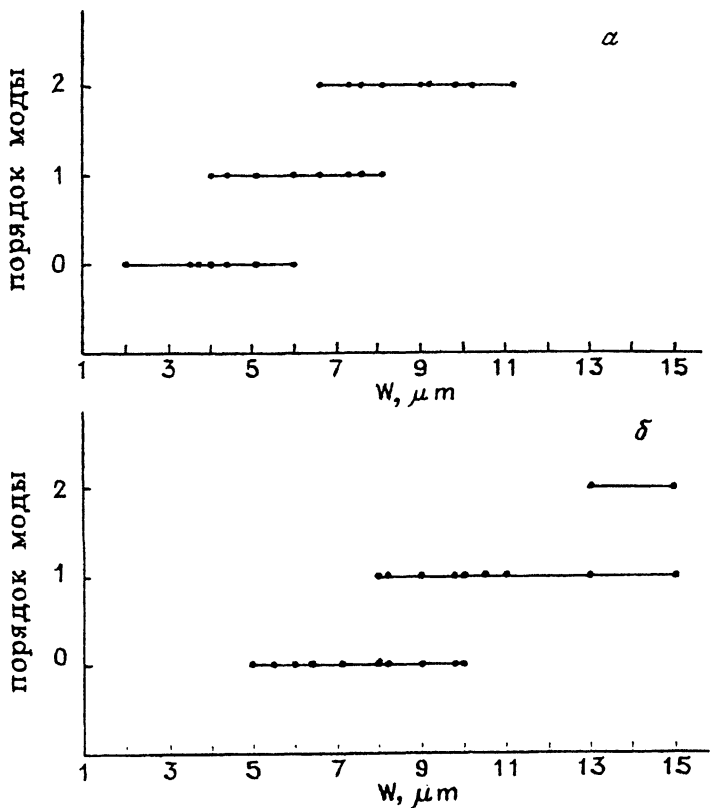


Рис. 4. Модовый состав излучения для лазеров (*a* — с широко, *b* — с узко вскрытым контактом) при оптической мощности 100 мВт.

не в плоскости $p-n$ -перехода. Лазеры с узким вскрытием полоскового контакта исследовались только с параметром $W - \omega > 4 \mu m$. Модовый состав излучения исследовался на лазерных диодах без нанесения отражающих покрытий на грани, при мощности излучения 100 мВт. На рис. 4, *a*, *b* приведены зависимости модового состава излучения от ширины мезаполоска W для лазерных диодов обоих типов конструкций. В лазерах с широко вскрытым полоском устойчивый режим генерации наблюдался при $W < 4 - 5 \mu m$. В лазерных диодах второго типа конструкции устойчивый режим генерации на основной поперечной моде наблюдался при $W < 8 - 10 \mu m$. Полученные лазерные диоды имели также следующие особенности вследствие того, что ширина мезаполоска была увеличена до $10 \mu m$. Пороговая плотность тока была снижена почти в 2 раза, а дифференциаль-

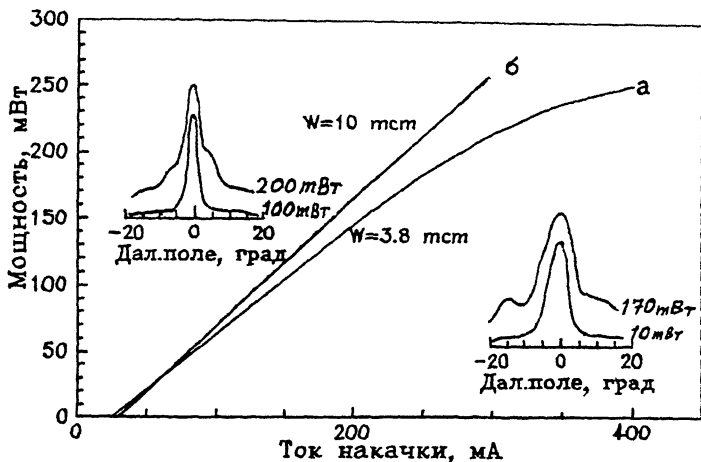


Рис. 5. Ватт-амперные характеристики лазеров с широко (а) и узко (б) вскрытым контактом.

ная эффективность возросла почти в 1.5 раза в сравнении с лазерными диодами с широким вскрытием полоска. На рис. 5 приведены ватт-амперные характеристики лазерных диодов обеих конструкций, сохраняющих генерацию нулевой поперечной моды. На одну из граней лазерных диодов наносились диэлектрические зеркала Si/SiO_2 с коэффициентом отражения $R > 95\%$, при этом максимальная мощность в нулевой поперечной моде оптического излучения $220 \mu\text{W}$ в непрерывном режиме достигалась при токе накачки 260 mA в лазерных диодах с узким вскрытием полоскового контакта. Пороговая плотность тока составляла $0.55 \text{ kA}/\text{cm}^2$, а дифференциальная эффективность 70% .

Изготовленные лазерные диоды испытывались при повышенной температуре 30°C и 50°C в режиме стабилизации тока накачки. Один из лазеров испытывался при температуре 50°C при токе накачки, соответствующем мощности излучения 50 mW при 20°C и проработал более 3000 ч . Снижение мощности излучения составило 20% . Лазер из другой партии проработал 200 ч при 30°C и токе, соответствующем мощности 50 mW при 20°C . Снижение мощности излучения не превысило 18% . За тем этот же лазер проработал при 50°C еще 3000 ч на том же токе накачки, и снижение мощности излучения составило 15% . Испытания этих лазеров продолжаются. Таким образом, используя коэффициент пересчета [8], можно предположить, что испытываемые лазеры при температуре 20°C имеют срок службы более 45000 ч .

Список литературы

- [1] *Garbuzov D.Z., Antonishkis N.Ju., Zhigulin S.N., P'inskaya N.D., Kochergin A.V., Lifshitz D.A., Rafailov E.U., Fuksman M.V.* // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 62. N 10. P. 1062-1064.
- [2] *Garbuzov D.Z., Berishev I.E., Pyin Yu.V., Plyinskaya N.D., Ovchinnikov A.V., Pikhtin N.A., Tarasov I.S.* // J. Appl. Phys. 1992. V. 72. N 1. P. 319-321.
- [3] *Гарбузов Д.З., Бершнев И.Э., Ильин Ю.В., Ильинская Н.Д., Овчинников А.И., Пихтин Н.А., Рассудов Н.Л., Тарасов И.С.* // ФТП. 1991. Т. 25. В. 8. С. 1414-1418.
- [4] *Garbuzov D.Z., Antonishkis N.Ju., Bondarev A.D., Gulakov A.B., Zhigulin S.N., Katsavets N.I., Kochergin A.V., Rafailov E.U.* // IEEE J. of Quantum El. 1991. V. 27. N 6.
- [5] *Гарбузов Д.З., Бершнев И.Э., Ильин Ю.В., Ильинская Н.Д., Овчинников А.И., Пихтин Н.А., Тарасов И.С.* // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 6. С. 17-21.
- [6] *Кейси Х., Паниш М.* Лазеры на гетероструктурах. Москва: Мир, 1981.
- [7] *Garbuzov D.Z., Boroditsky M.L., Plyinskaya N.D., Livshits D.A., Marinsky D.N., Rafailov E.U.* // J. Appl. Phys. (to be published).
- [8] *Елисеев П.Г.* // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. В. 9. С. 1749-1768.

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

Поступило в Редакцию
10 сентября 1993 г.

