

06.3;07

©1994

ОДНОМОДОВЫЕ InGaAsP РО ДГС ЛАЗЕРЫ С ТОНКИМ ВОЛНОВОДОМ ($\lambda = 0.8$ и 1.3 мкм)

*И.Э.Берншев, М.Л.Бородицкий, А.Ю.Горбачев,
Ю.В.Ильин, Н.Д.Ильинская, Д.А.Лившиц,
А.Л.Станкевич, Э.У.Рафаилов, И.С.Тарасов*

Одномодовые InGaAsP лазеры раздельного ограничения (РО) широко используются в настоящее время как источники излучения в диапазонах длин волн 0.75–0.86 и 1.1–1.65 мкм. В работах [1,2] показана возможность создания одномодовых InGaAsP РО ДГС лазеров зарощенной мезополосковой конструкции и рассмотрены технологические аспекты этой проблемы, но вопрос совмещения высокой мощности оптического излучения и одномодового режима генерации в зарощенных InGaAsP РО ДГС лазерах остается актуальным. В настоящей работе впервые с целью увеличения мощности одномодового оптического излучения изготовлены и исследованы InGaAsP/GaAs и InGaAsP/InP РО ДГС лазеры с тонким волноводом.

В экспериментах использовались планарные гетероструктуры с раздельным оптическим и электронным ограничением и одиночной квантовой ямой, выращенные модифицированным методом ЖФЭ на подложках n -InP и n -GaAs [3,4]. Толщины активной области составляли $\sim 200\text{Å}$ для лазеров с длиной волны излучения $\lambda = 0.8$ мкм и $\sim 300\text{Å}$ для лазеров с длиной волны излучения $\lambda = 1.3$ мкм. Уменьшение толщины волноводов лазерных гетероструктур достигалось путем сокращения времени контакта подложки с ростовыми расплавами, из которых выращивались волноводные слои. По технологии зарощивания, подробно рассмотренной в работе [5], изготавливались зарощенные мезополосковые лазеры с различными ширинами излучающей области. На структуры напылялись сплошные контакты: Zn–Au на p -сторону и Ge–Au на n -подложку. Лазеры паялись на теплоотводы полоском вниз.

В нашей предыдущей работе увеличение мощности одномодового оптического излучения в InGaAsP/GaAs РО лазерах достигалось за счет узкого вскрытия контакта в слое SiO₂ над мезополосковым при сохранении ширины мезы W порядка 10 мкм [6]. Однако ухудшение теплового режима в

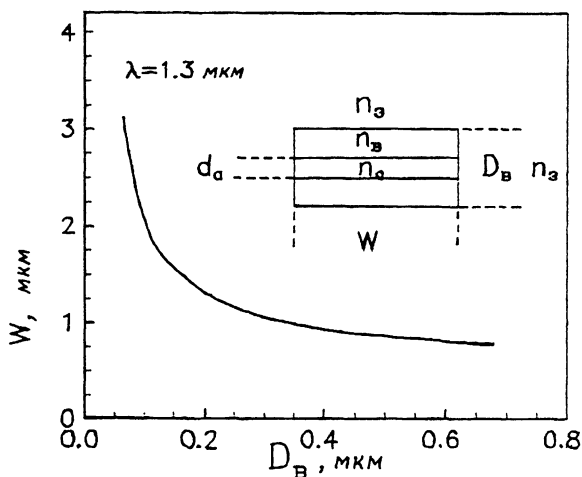


Рис. 1. Расчетные зависимости ширины полоска W от толщины волновода D_B , полученные для одномодовых лазеров с длиной волны генерации $\lambda = 1.3$ мкм.

лазерах такого типа послужило причиной поиска альтернативной конструкции, позволяющей сохранить одномодовый режим генерации и высокую оптическую мощность за счет увеличения W .

Из теории диэлектрических волноводов известно, что коэффициент оптического ограничения электромагнитной волны, распространяющейся в прямоугольном волноводе полупроводникового лазерного диода (рис. 1), определяется эффективным показателем преломления, который зависит от толщин активной области d_a и волновода D_B , ширины мезы W , показателей преломления активной области, волноводных слоев, зарощенных областей и эмиттеров n_a , n_b , n_c , n_d [7]. Изменение показателя преломления волноводных и зарощенных слоев связано с технологическими трудностями, возникающими при подборе составов выращиваемых эпитаксиальных слоев. Кроме того, увеличение показателя преломления блокирующих слоев может привести к ухудшению их блокирующих свойств. Наиболее удобным способом для изменения эффективного показателя преломления, позволяющим увеличить ширину мезы, является изменение толщины волновода D_B . Был проведен расчет зависимостей ширины мезы W , при которой достигается отсечка первой поперечной моды, от толщины волновода D_B для лазерной гетероструктуры с фиксированной толщиной активной области d_a (рис. 1). Уменьшение толщины волновода от его оптимального значения $D_B = 0.35$ мкм для базовой гетероструктуры [8] с минимальной пороговой плотностью

тока позволяет увеличить ширину волновода в несколько раз. Однако одновременно с этим возрастает пороговая плотность тока в лазерной гетероструктуре с раздельным ограничением. Поэтому на практике полностью отказаться от волноводных слоев в мощных зарощенных лазерах не имеет смысла. В результате исследования зависимости пороговой плотности тока от толщины волноводных слоев в лазерной гетероструктуре была выбрана толщина волновода $D_{\text{в}} \sim 0.15 - 0.2$ мкм, которая приводила к двухкратному возрастанию пороговой плотности тока.

На рис. 3 приведена зависимость модового состава излучения от ширины волновода для зарощенных РО ДГС лазеров с различной длиной волны излучения. Видно, что режим генерации на основной поперечной моде для лазеров с $\lambda = 1.3$ мкм сохраняется до $W = 4.5$ мкм, значительно превышающей расчетное значение. Это различие связано, по нашему мнению, с тем, что в расчетах не учитывалось распределение концентрации инжектированных носителей по ширине активной области W , усиленное эффектами безызлучательной рекомбинации на границе волновода и блокирующих слоев. Как было показано в работе [6], распределение концентрации инжектированных носителей оказывает сильное влияние на модовый состав излучения диэлектрического волновода, а именно: уменьшение их концентрации на краях мезополоска вызывает подавление генерации поперечной моды первого порядка. Поэтому в InGaAsP/InP РО ДГС лазерах наблюдалась генерация на основной поперечной моде при ширине мезы порядка 4 мкм. Для InGaAsP/GaAs РО ДГС лазеров был проведен расчет с учетом распределения концентрации инжектированных носителей по ширине активной области W и эффектов безызлучательной рекомбинации на границе волновод-зарощенная область.

На рис. 2 показаны результаты расчетов зависимости отношения тока инжекции к пороговому току $I/I_{\text{пор}}$, при котором доля нулевой поперечной моды в общем оптическом излучении лазера составляет 70% от ширины мезополоска W при различных толщинах волновода для InGaAsP/GaAs лазеров ($\lambda = 0.8$ мкм). Видно, что при уменьшении общей толщины волновода $D_{\text{в}}$, кривая зависимости смещается в область больших значений $I/I_{\text{пор}}$ и W , что позволяет при одинаковом превышении порогового тока сохранять одномодовую генерацию в лазерах с большими ширинами полосков. При двукратном превышении пороговой плотности тока и толщине волновода ~ 0.1 мкм ширина мезы, при которой сохраняется генерация основной поперечной моды, составляла $W \sim 9$ мкм, что соответствует экспериментальным значениям, полученным при исследовании модового состава

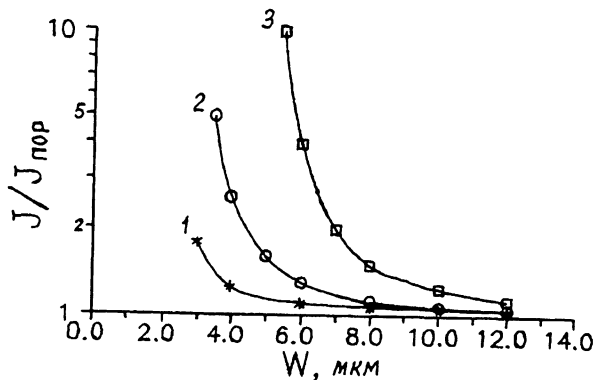


Рис. 2. Кривая расчетной зависимости отношения тока инжекции к пороговому току, при котором доля нулевой поперечной моды в общем оптическом излучении лазера составляет 70% от ширины полоска $\omega(\lambda = 0.8)$ мкм для лазеров с различной толщиной волновода D_b , 1 — $D_b = 0.5$, 2 — 0.2, 3 — 0.1 мкм.

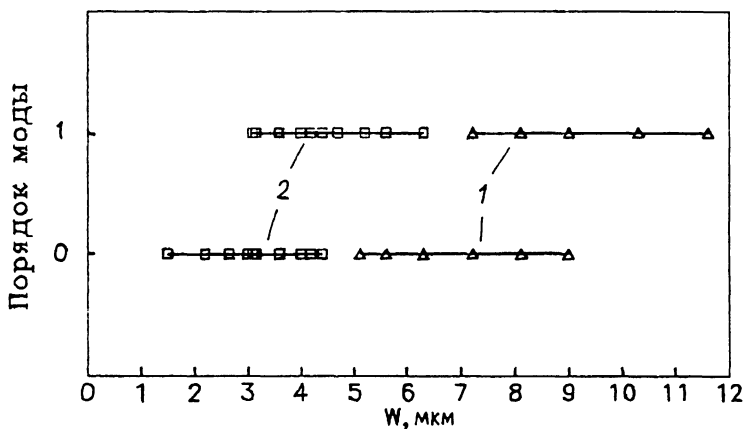


Рис. 3. Модовый состав излучения для лазеров с длинами волн генерации $\lambda = 0.8$ (1) и 1.3 мкм (2) от ширины волновода W .

ва излучения лазерных диодов, изготовленных на подложке GaAs (рис. 3).

На рис. 4 представлены ватт-амперные характеристики изготовленных лазеров с тонким волноводом. На одну из граней лазерных диодов были нанесены отражающие Si/SiO₂ зеркала, обеспечивающие коэффициент отражения $\sim 95\%$. Как видно из рисунков, лазеры сохраняют одномодовый режим генерации до мощностей 260 мВт ($\lambda = 0.8$ мкм) и 250 мВт ($\lambda = 1.3$ мкм) при ширинах мез $W = 9$ и 4.5 мкм, со-

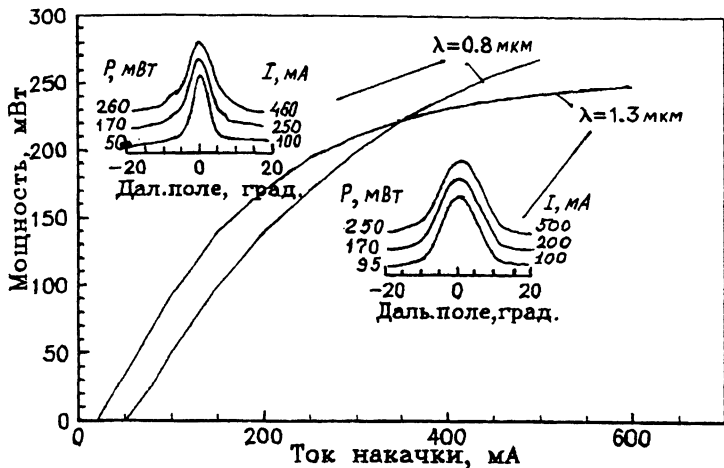


Рис. 4. Ватт-амперные характеристики одномодовых лазеров.

ответственно. Эти значения мощности излучения являются на сегодняшний день рекордными для лазеров на основе твердых растворов InGaAsP . Пороговые плотности тока составили величины 0.7 и 1.2 кА/см^2 . Это примерно вдвое больше оптимального значения пороговой плотности тока в лазерах с расширенным волноводом. При этом не наблюдается качественного отличия в значениях дифференциальной квантовой эффективности η_d и в изготовленных лазерных диодах η_d составляло $\sim 75\%$, ($\lambda = 0.8 \text{ мкм}$) и $\sim 65\%$ ($\lambda = 1.3 \text{ мкм}$).

Таким образом, основной результат данной работы можно сформулировать следующим образом: уменьшение толщины волновода полупроводниковых РО ДГС лазеров на основе InGaAsP/InP и InGaAsP/GaAs позволяет сохранять генерацию нулевой поперечной моды излучения в более широком волноводе и при больших токах накачки, что приводит к достижению мощностей оптического излучения в непрерывном режиме работы 260 и 250 мВт на длинах волн излучения $\lambda = 0.8$ и 1.3 мкм соответственно.

Список литературы

- [1] *Garbuzov D.Z., Berishev I.E., Plyin Yu.V., P'inskaya N.D., Ovchinnikov A.V., Pikhtin N.A., Tarasov I.S.* // J. of Appl. Phys. 1992. V. 72. N 1. P. 319-321.
- [2] *Garbuzov D.Z., Antonishkis N.Yu., Zhigulin S.N., P'inskaya N.D., Kochergin A.V., Lifstis D.A., Rafailov E.U., Fuksman M.V.* // J. Appl. Phys. 1993. V. 62. N 10. P. 1062-1064.
- [3] *Garbuzov D.Z., Antonishkis N.Yu., Bondarev A.D., Gulakov A.B., Zhigulin S.N., Katsavets N.I., Kochergin A.V., Rafailov E.V.* // IEEE J. Quant. El. 1991. V. 27. N 6. P. 15-31.
- [4] *Garbuzov D.Z., Goncharov S.E., Plyin Yu.V., Pikhtin N.A., Ovchinnikov A.V., Tarasov I.S.* // Proc. of First Intern Sov. Fiber Opt. Conf. (ISFOC'91). 1991. USSR. V. 1. P. 144-149.
- [5] *Гарбузов Д.З., Беришев И.Э., Ильин Ю.В., Ильинская Н.Д., Пиктин Н.А., Овчинников А.В., Тарасов И.С.* // Письма в ЖТФ. Т. 17. В. 6. С. 17-21.
- [6] *Бородицкий М.Л., Гарбузов Д.З., Горбачев А.Ю., Ильинская Н.Д., Лившиц Д.А., Маринский Д.Н., Рафаилов Э.У., Станкевич А.Л., Тарасов И.С.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 21. С. 78-84.
- [7] *Votze D.* // IEEE J. of Quantum Electronics. V. QE-18. N 5. 1982. P. 865-870.
- [8] *Гарбузов Д.З., Евстигнев В.П., Карнов С.Ю., Соколова З.Н., Халфин В.Б.* // ФТП. Т. 19. В. 3. С. 449-455.

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

Поступило в Редакцию
1 февраля 1994 г.

