

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАРАЩИВАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ ОДНОМОДОВЫХ ЗАРОЩЕННЫХ InGaAsP/InP-ЛАЗЕРОВ ($\lambda=1.3$ МКМ) С МОЩНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ 160 мВт

Гарбузов Д. З., Беряшев И. Э., Ильин Ю. В., Ильинская Н. Д.,
Овчинников А. В., Пихтин Н. А., Рассудов Н. Л., Тарасов И. С.

Установлены и устранены причины, приводящие к возрастанию пороговой плотности тока в лазерных диодах зарощенной конструкции при их изготовлении методом жидкостной эпитаксии. На основании исследований фотолюминесцентных характеристик зарощенных мезаполосков показано, что основной причиной возрастания пороговой плотности тока в соответствующих лазерах является падение внешнего квантового выхода спонтанного излучения, обусловленное возникновением во время процесса зарощивания дополнительных центров безызлучательной рекомбинации на границе мезы и блокирующих слоев. Установлено, что величина внешнего квантового выхода спонтанного излучения активной области может быть восстановлена после травливания в недосыщенном металлическом расплаве тонкого (0.1—0.3 мкм) нарушенного приповерхностного слоя мезы. С использованием данного приема изготовлены одномодовые InGaAsP/InP-лазеры ($\lambda=1.3$ мкм), имеющие при длине резонатора 500 мкм пороговые плотности тока 15—25 мА и непрерывную мощность излучения более 150 мВт.

Одним из основных методов изготовления мощных одномодовых лазерных диодов в системе InGaAsP/InP (100) ($\lambda=1.3—1.55$ мкм) является зарощивание блокирующими слоями мезаполосковой структуры, сформированной химическим травлением.

В работе [1] с помощью электронной микроскопии проведены исследования качества границы раздела мезы и блокирующих слоев. Показано, что возможной причиной различия пороговых токов в зарощенных лазерах является различие в плотности дефектов на этой границе.

В работах [2, 3] была продемонстрирована связь деградационных характеристик зарощенных лазеров с нарушениями структурного совершенства стенок мезы, подвергшихся химическому травлению и нагреву перед зарощиванием.

В настоящей работе фотолюминесцентные характеристики зарощенных мезаполосков сопоставлены с параметрами изготовленных из них лазеров и предложен способ восстановления структурного совершенства стенок мезы непосредственно перед осаждением блокирующих слоев. Для изготовления зарощенных лазерных диодов были использованы структуры отдельного ограничения с тонкими одиночными активными областями (SCH SQW-структуры), изготовленные модифицированным методом жидкофазной эпитаксии, при котором тонкие активные области осаждаются в процессе движения подложки под расплавом, заклюденным в узкой роторной щели [4]. Нелегированные волноводные слои $\text{In}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.21}\text{P}_{0.79}$, эмиттерный слой n -InP, верхний эмиттер, легированный Cd, и контактный слой $\text{In}_{0.78}\text{Ga}_{0.22}\text{As}_{0.52}\text{P}_{0.48}$ выращивались из объемных ростовых ячеек обычным методом. Специальный прием, использованный при легировании верхнего эмиттера кадмием, позволял избежать загрязнений акцепторами волноводного слоя [5]. Толщины слоев приведены на зонной схеме структуры, показанной на рис. 1, б.

На первом этапе данной работы была разработана технология многоэтапного селективного химического травления, обеспечивающая совпадение положения

блокирующего $p-n$ -перехода с положением $p-n$ -перехода в структуре, что привело к резкому улучшению воспроизводимости характеристик лазерных диодов [6]. На этом этапе работы зарощивание проводилось по обычной технологии. Блокирующая структура состояла из четырех слоев InP с чередующимся типом проводимости ($p-n-p-n$) и верхнего слоя $n\text{-In}_{0.84}\text{Ga}_{0.16}\text{As}_{0.34}\text{P}_{0.66}$.

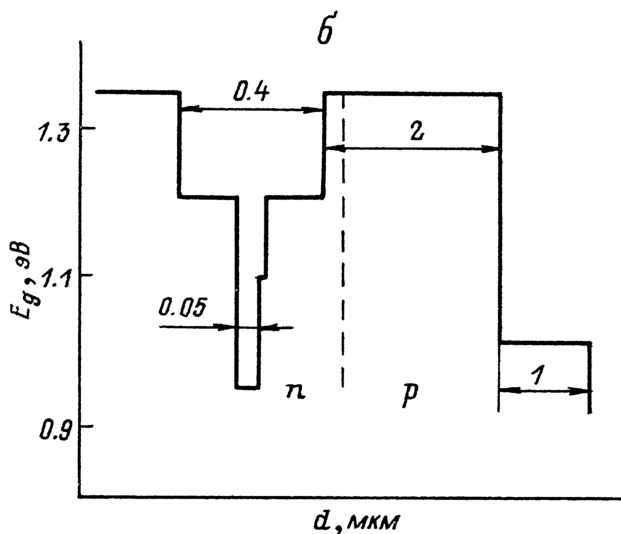
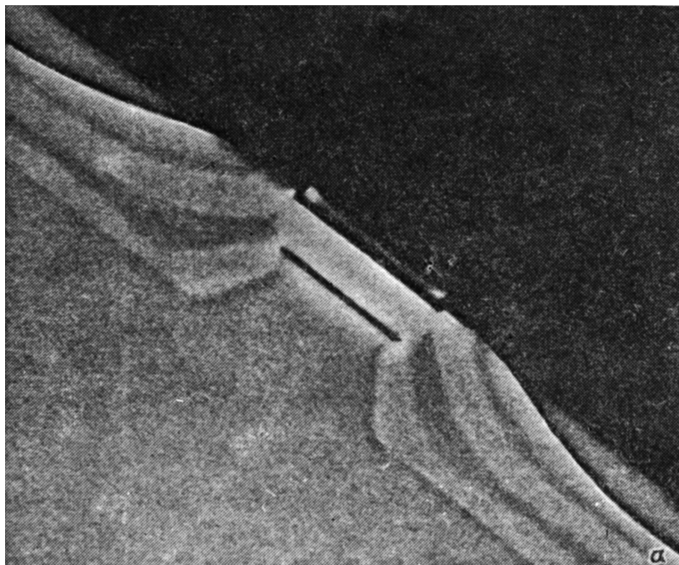


Рис. 1. Зонная диаграмма ПО ДГ структуры (б) и микрофотография скола зарощенного InGaAsP/InP (100) лазера (а).

На рис. 1, а приведена микрофотография скола зарощенного лазера, изготовленного по этой технологии. Лазерные диоды имели ширину излучающей области $W=2-3$ мкм, пороговый ток $J_{\text{пор}}=50-100$ мА и мощность излучения в режиме генерации нулевой поперечной моды порядка 50–70 мВт.

На рис. 2, а приведена зависимость пороговой плотности тока ($J_{\text{пор}}$) в этих диодах от ширины излучающей области W . Из этого рисунка видно, что при $W=3$ мкм значения $J_{\text{пор}}$ в лазерах зарощенной конструкции составляли величину 4–5 кА/см², т. е. были в 4–5 раз больше, чем в лазерах с оксидной изо-

лящей, имеющих широкую излучающую область ($W=60$ мкм, $J_{\text{пор}}=0.5-1$ кА/см²).

Для выяснения причин возрастания $J_{\text{пор}}$ в узких зарощенных лазерах была проведена серия дополнительных экспериментов. Для этих экспериментов было изготовлено несколько изотипных гетероструктур, состоящих из буферного слоя InP толщиной 5—7, активного слоя $\text{In}_{0.69}\text{Ga}_{0.31}\text{As}_{0.66}\text{P}_{0.34}$ толщиной 0.2—0.3, антистравливающего слоя $\text{In}_{0.83}\text{Ga}_{0.17}\text{As}_{0.36}\text{P}_{0.64}$, верхнего слоя InP толщиной 2 мкм и верхнего слоя $\text{In}_{0.78}\text{Ga}_{0.22}\text{As}_{0.52}\text{P}_{0.48}$ толщиной 0.7—0.8 мкм. Также как при изготовлении лазеров, в этих гетероструктурах через маску SiO_2 были вытравлены глубокие мезаполоски шириной 3, 5, 10 и 60 мкм. Непосредственно после химического травления измерялась относительная интенсивность фотолуминесценции активной области полосков при облучении их светом He—Ne-лазера ($\lambda=1.15$ мкм) с низким уровнем возбуждения (400 А/см²), соответствующим допороговому режиму работы лазера [7]. После этих измерений структуры

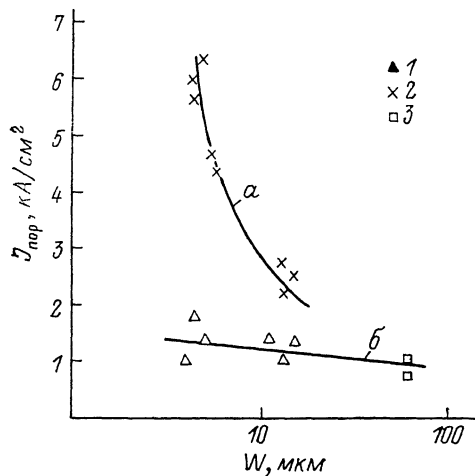


Рис. 2. Зависимость пороговой плотности тока в лазерных диодах от ширины излучающей области.

3 — оксидно-полосковые лазеры, 2 — лазеры зарощенной конструкции, изготовленные по обычной технологии, 1 — лазеры зарощенной конструкции, изготовленные по технологии, использующей металлическое травление перед зарощиванием.

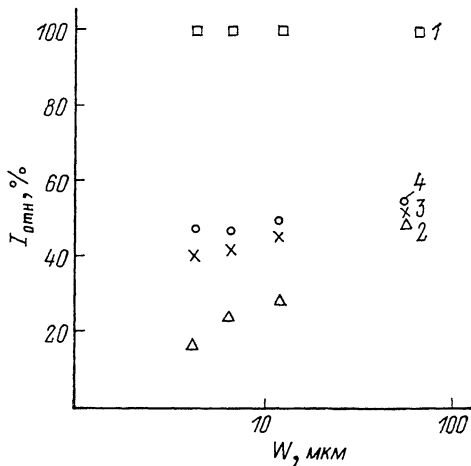


Рис. 3. Зависимость относительной интенсивности фотолуминесценции от ширины мезаполосков.

1 — в структурах до прогрева, 2 — в тех же структурах после термообработки, 3 — в прогретых структурах после удаления тонкого поверхностного слоя в первом процессе химического травления, 4 — в прогретых структурах после повторного химического травления.

загружались в ростовой реактор и проводилась имитация термообработки, предшествующей процессу зарощивания. Структуры защищались от термической эрозии пластиной GaAs [8]. После прогрева на этих структурах проводились повторные фотолуминесцентные измерения. Количественные результаты этого эксперимента приведены на рис. 3. Обнаружено максимальное падение интенсивности фотолуминесценции для мезаструктур с полосками шириной $W=3$ и минимальное при $W=60$ мкм. Этот результат, по нашему мнению, объясняется возрастанием скорости безызлучательной рекомбинации в нарушенной приповерхностной области активного слоя на боковых плоскостях мезы.

Для оценки толщины приповерхностной области с повышенной скоростью безызлучательной рекомбинации было проведено химическое травление прогретых мезаструктур. После каждого процесса травления, удалявшего 0.2 мкм материала с боковой поверхности, проводились новые измерения относительной интенсивности фотолуминесценции для структур с различной шириной полосков. Результаты этих измерений приведены на рис. 3. На основе приведенных данных можно сделать заключение о том, что толщина нарушенного термической эрозией слоя не превышает 0.2—0.3 мкм.

Дальнейшие исследования были направлены на нахождение эффективного способа восстановления совершенства боковой поверхности мезы непосредст-

венно перед осаждением блокирующих слоев InP. Для этого было использовано прецизионное травление мезаструктуры в недосыщенном металлическом расплаве. Соответствующие эксперименты проводились на изотипной структуре, в которой были вытравлены мезаполоски шириной 6 мкм. Перед осаждением слоя InP половина площади структуры приводилась в контакт с недосыщенным расплавом In—Ga—As. Вторая половина мезаструктуры во время травления была закрыта графитовым вкладышем. В этих экспериментах для разных структур время травления менялось от 5 до 20 с. После процесса зарощивания сравнивалась относительная интенсивность фотолюминесценции активной области для обеих частей зарощенной структуры. Независимо от времени травления наблюдались в 2—3 раза более высокие значения интенсивности люминесценции для полосков в той части структуры, для которой было проведено предварительное травление недосыщенным расплавом. Этот результат позволяет сделать вывод о том, что нарушенный слой удаляется за несколько первых секунд травления. Следует отметить, что при кратковременном травлении ($< 5''$) профиль мезы практически не меняется.

Основываясь на результатах этих экспериментов, изготовили лазерные диоды зарощенной конструкции с предварительным кратковременным травлением

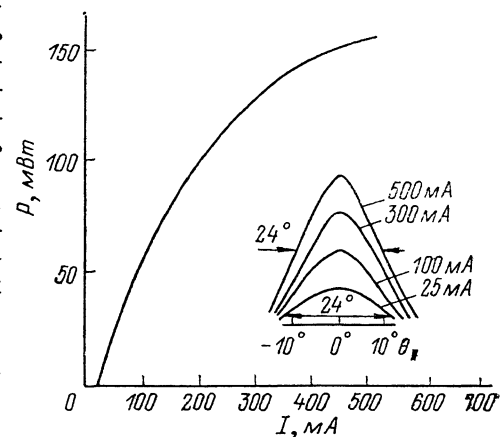


Рис. 4. Ватт-амперная характеристика и распределение дальнего поля излучения лазера, изготовленного с применением металлического травления.

мезаполосков в металлическом расплаве. Как видно из рис. 2, для таких лазерных диодов не наблюдалось сильной зависимости $J_{\text{пор}}$ от ширины полоска. Плотность порогового тока имела величину от 0.7 до 1.3 кА/см² для диодов с $W = 2-3$ мкм. На рис. 4 приведена ватт-амперная характеристика одного из лазерных диодов, изготовленных по данной технологии. При длине резонатора 480 мкм пороговый ток составлял 20 мА, а максимальная мощность непрерывного однододового излучения достигала 160 мВт. Эта величина близка к лучшим из опубликованных данных (200 мВт) для InGaAsP/InP-лазеров ($\lambda = 1.3$ мкм) VIPS-конструкции [9] и для лазеров с напряженным активным слоем, изготовленным методом MOCVD [10].

Суммируя результаты работы, можно сказать, что основной причиной возрастания пороговой плотности тока в однододовых лазерах зарощенной конструкции может являться падение внешнего квантового выхода спонтанного излучения, обусловленное появлением в процессе зарощивания дополнительных центров безызлучательной рекомбинации на границе мезы и блокирующих слоев. Предварительное травление в недосыщенном расплаве позволяет устранить нарушенную область с ускоренной безызлучательной рекомбинацией, снизить пороговые плотности тока в однододовых лазерах и довести их мощность непрерывного излучения до 160 мВт.

Авторы благодарят Ж. И. Алфёрова за постоянный интерес и внимание к работе.

Список литературы

- [1] Chu S. N. G., Logan R. A., Temkin H. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 7. P. 2434—2437.
- [2] Fukuda M., Iwane G. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 8. P. 2932—2936.
- [3] Fukuda M., Iwane G. // J. Appl. Phys. 1986. V. 59. N 5. P. 1031—1036.
- [4] Alferov Z. I., Garbuzov D. Z. // Proc. XVIII Int. Conf. Phys. Semicond. Stockholm, 1986. V. 1. P. 203—210.
- [5] Алфёров Ж. И., Гарбузов Д. З., Овчинников А. В., Тарасов И. С., Евтихийев В. П., Нивин А. Б., Свелокузов А. Е. // Письма ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 19. С. 1157—1162.

- [6] Garbuzov D. Z., Berishev I. E., Il'in Yu. V., Il'inskaya N. D., Ovchinnikov A. V., Pikh-tin N. A., Rassudov N. L., Tarasov I. S. // Proc. I Int. Sov. Fiber Optics Conf. Leningrad, 1991, в печати.
- [7] Гарбузов Д. З., Чудинов А. В., Агаев В. В., Чалый В. П., Евтихийев В. П. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 1. С. 102—108.
- [8] Kinashita J., Okuda H., Nematsu Y. // Electron. Lett. 1983. V. 19. N 6. P. 215—217.
- [9] Oshiba S., Matoba A., Kawahara M., Kawai Y. // IEEE J. Quant. Electron. 1987. V. QE-23. N 6. P. 738—740.
- [10] Tanbun-Ek T., Logan R. A., Olsson N. A., Temkin H., Sergent A. M., Wecht K. W. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. N 3. P. 224—226.

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

Получена 5.04.1991
Принята к печати 18.04.1991