

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ И ЧИПА ЛАЗЕРНОГО ДИОДА

А. Фомин, Е. Ершов, С. Крюков

РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, РФ

Dep5@vniitf.ru

Одним из направлений РФЯЦ-ВНИИТФ в области лазерной техники является развитие технологий и постановка производства элементов полупроводниковой накачки мощных оптоволоконных лазеров (ОВЛ). В рамках этого направления ведется разработка замкнутого производственного цикла по изготовлению лазерных диодов (ЛД) высокой мощности и эффективности, включающего технологии эпитаксиального роста лазерных гетероструктур (ГС), полный планарный технологический цикл, заканчивая технологиями скрайбирования и монтажа ЛД на несущие подложки (сабмаунты).

Растущие требования к мощности излучения ОВЛ диктуют аналогичные требования и к мощности излучения элементов накачки, базовым элементом которых является ЛД. При эксплуатации ЛД ранних разработок была выявлена проблема насыщения ватт-амперной характеристики (ВтАХ) при токах накачки более 10А, которое препятствовало дальнейшему повышению выходной мощности излучения ЛД. Насыщение ВтАХ при этом сопровождалось высокими значениями прямого напряжения, что в итоге снижало КПД лазерного диода.

Анализ результатов измерений показал, что одной из причин насыщения ВтАХ и низкого КПД является конструкция ГС с расширенным нелегированным волноводом. Другой причиной низких значений КПД и, как следствие, низкого ресурса выступала классическая мезаполосковая конструкция чипа ЛД. Для устранения указанных причин нами проведена оптимизация конструкции ГС и чипа ЛД.

При оптимизации конструкции чипа ЛД в топологию внедрены новые технические решения [1]. В разработанной конструкции при формировании диэлектрических областей учитывалась задача минимизации тепловой нагрузки на торцы резонатора ЛД с целью повышения порогового значения катастрофической оптической деградации зеркал резонатора (КОДЗ). Для снижения теплового воздействия область растекания тока и, соответственно, область рекомбинации носителей заряда располагалась на удалении от зеркал ЛД (области 1,3 на рис. 1). Для этого в слое диэлектрика была сформирована замкнутая открытая область (2) для контактной металлизации. Данная конструкция позволила увеличить порог КОДЗ, что позволило расширить диапазон рабочих токов выше 12А в непрерывном режиме излучения.

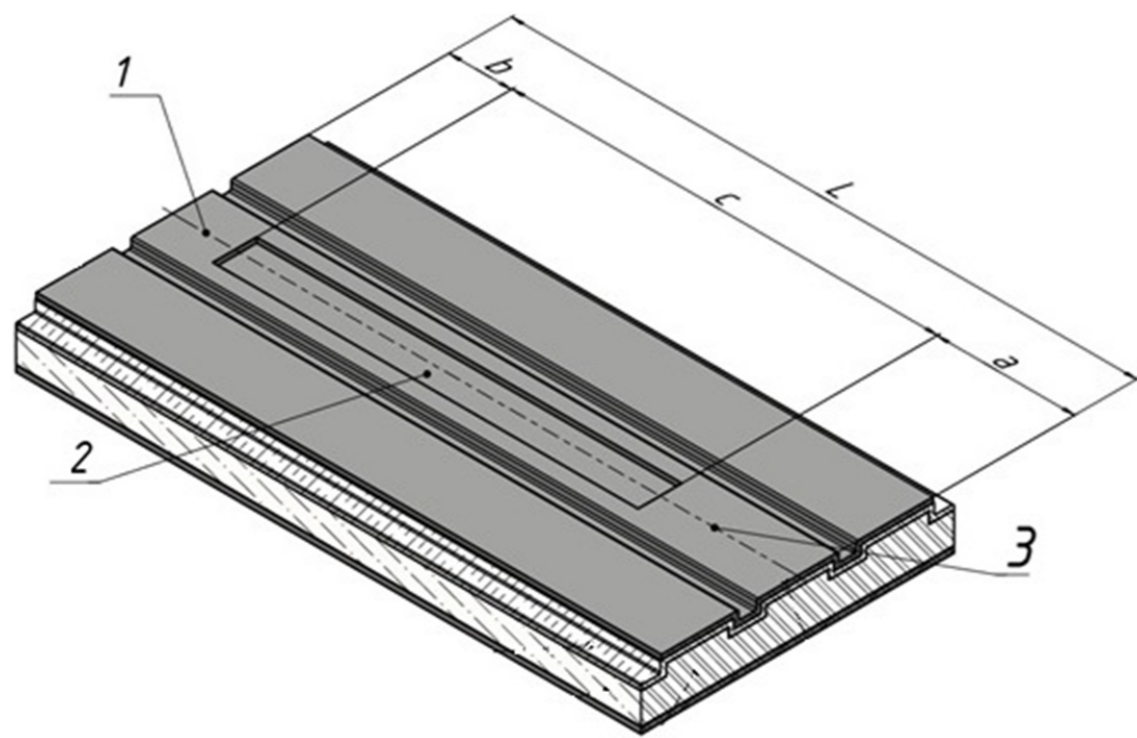


Рис. 1. - Эскиз топологии чипа ЛД.

При оптимизации конструкции ГС учитывалось, что основной причиной насыщения ВтАХ является использование в конструкции ГС расширенного нелегированного волновода, что приводит к повышению как теплового, так и последовательного электрического сопротивления ГС и, как следствие, к увеличенному тепловыделению, что снижает КПД лазеров и ограничивает их выходную мощность. Дополнительной причиной насыщения ВтАХ ЛД выступает делокализация носителей заряда из активной области в волноводные слои, вызванная малой энергетической глубиной квантовой ямы [2]. Для устранения причин насыщения ВтАХ и снижения значений вольт-амперной характеристики (ВАХ) при высоких токах накачки ЛД можно выделить следующие приемы: 1) увеличение энергетической глубины квантовой ямы; 2) легирование волноводных слоев ГС; 3) уменьшение толщины р-эмиттера [3-5]. Для анализа применимости в технологии изготовления ГС указанных приемов нами были проведены соответствующие исследования.

На первом этапе было исследовано влияние изменения глубины квантовой ямы ГС на выходные характеристики ЛД. Для этого изготовлены ГС (образцы 1-3) с расширенным нелегированным волноводом, в которых молярная доля Al в барьерных слоях $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ изменялась от 0 до 20%. Из образцов 1-3 по разработанной планарной технологии с использованием новой конструкции чипа были изготовлены ЛД с длиной резонатора 4 мм и шириной полоска 100 мкм. На торцы чипов ЛД наносились просветляющие и отражающие покрытия. Чипы ЛД монтировались пайкой р-контакта на теплопроводящий сабмаунт с вакуумным нанесением эвтектического припоя Au-Sn. Измерения ВтАХ и ВАХ чипов ЛД проводили на стенде для измерения электрооптических характеристик в интервале рабочих токов от 0 до 12 А в непрерывном режиме генерации. Как показали измерения ВтАХ (рис. 2), максимальная мощность излучения достигалась на чипах ЛД с молярной долей Al = 10% и составила 10,1 Вт при токе 12 А, при этом значение напряжения составило 1,88 В.

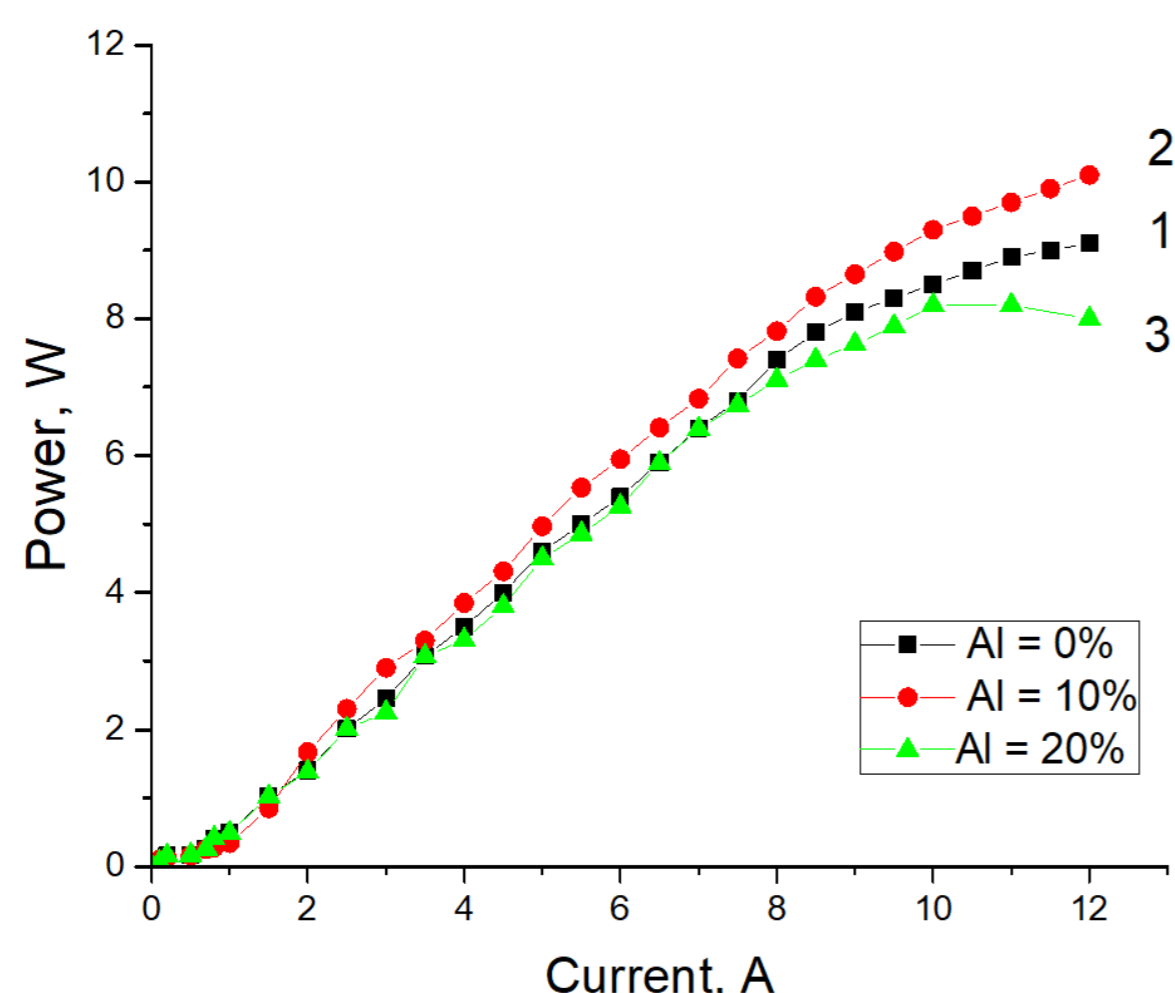


Рис. 2. - ВтАХ чипов ЛД, изготовленных из ГС (образцы 1-3), содержащих разную молярную долю Al в барьерных $\text{InGaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ слоях активной области.

На втором этапе исследовано влияние легирования волноводных слоев ГС на выходные электрооптические характеристики ЛД. Для этого изготовлена ГС (образец 4) с барьерными слоями $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$, в которых области волновода, примыкающие к п- и р-эмиттеру, легированы Si и Zn, соответственно. Для сохранения величины внутренних оптических потерь на уровне менее 1 см^{-1} область волновода, примыкающая к квантовой яме, оставалась нелегированной. Энергетическая зонная диаграмма такой ГС представлена на рис. 3.

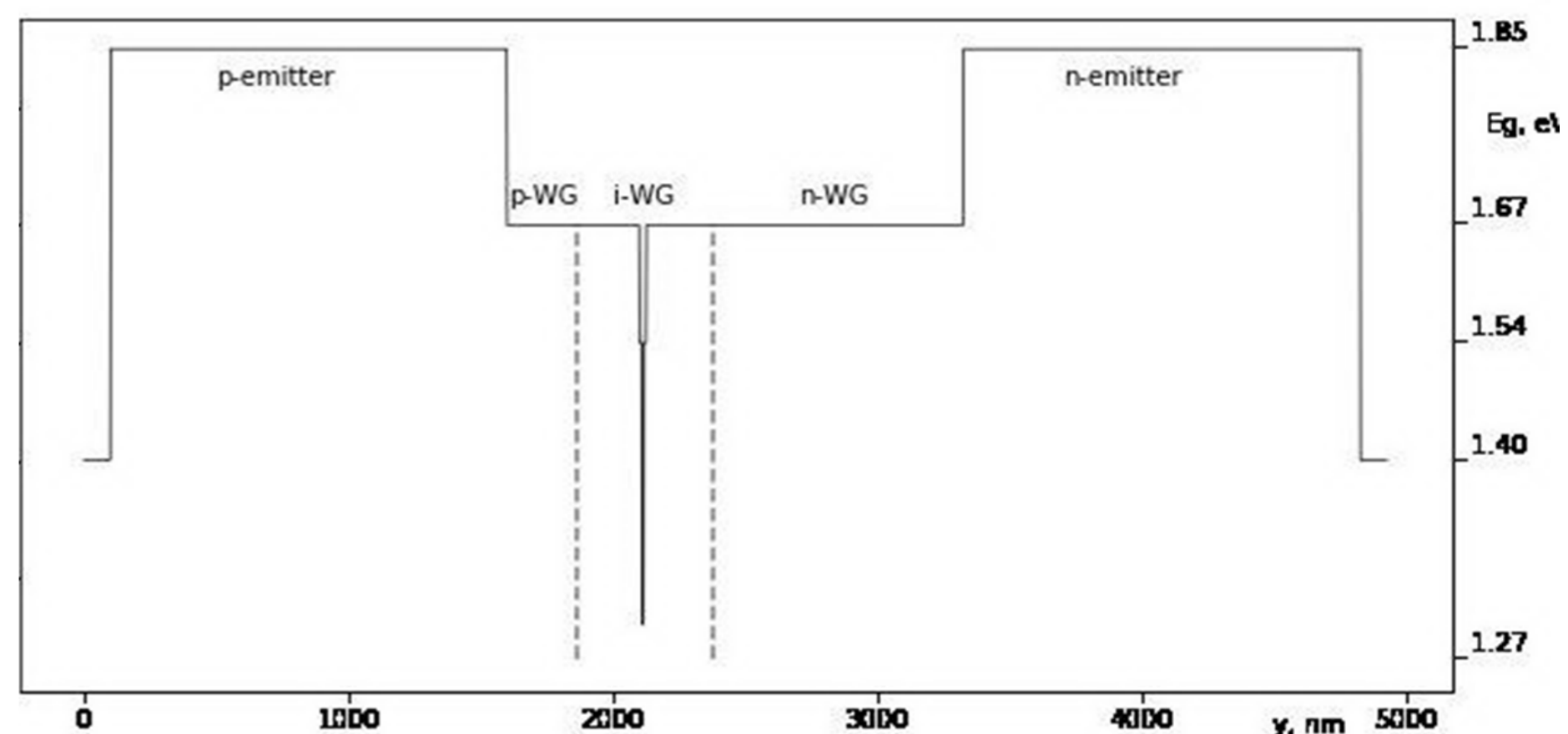


Рис. 3. - Зонная диаграмма лазерной ГС с легированными волноводными слоями (образец 4).

Результаты измерений ВтАХ и ВАХ чипов ЛД, изготовленных из ГС с нелегированными и легированными волноводными слоями представлены на рис. 4-а и 4-б, соответственно.

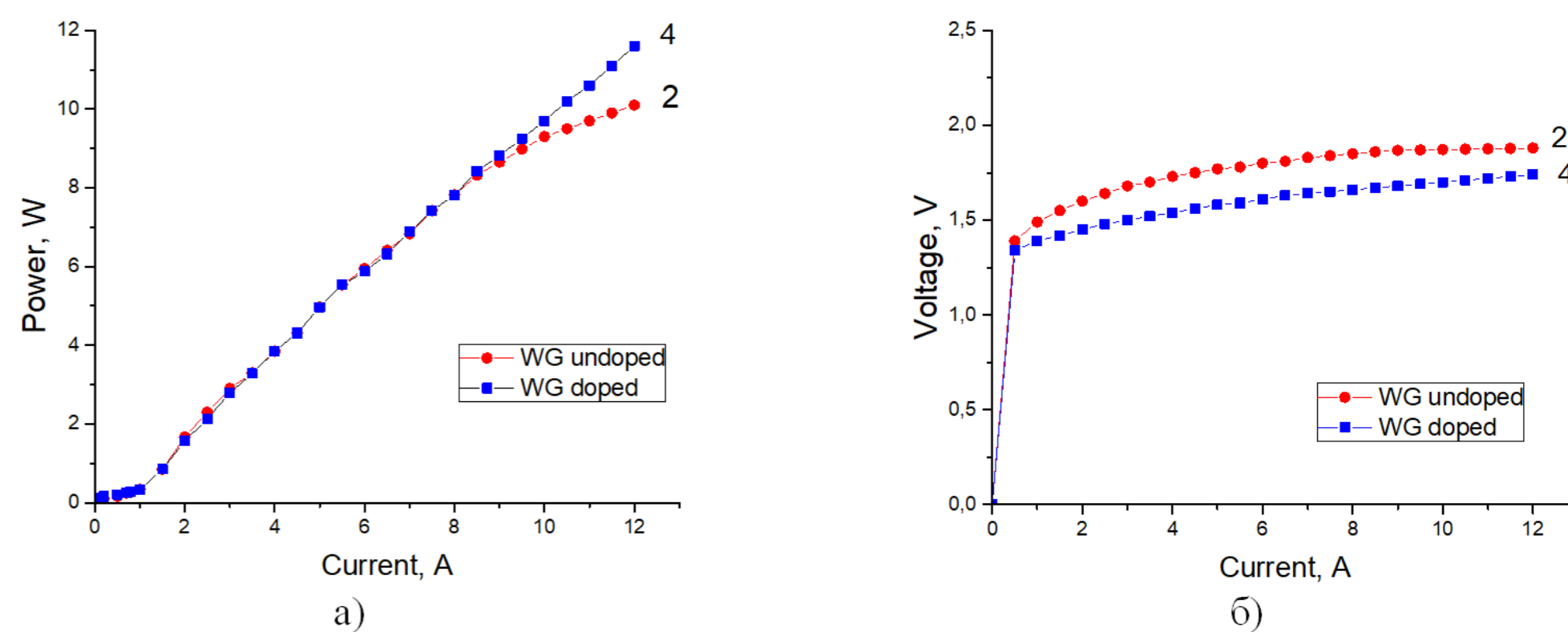


Рис. 4. - а) ВтАХ и б) ВАХ чипов ЛД, изготовленных из ГС с нелегированными (2) и легированными (4) волноводными слоями.

Как показали результаты измерений ВтАХ (рис. 4-а) для чипов ЛД, изготовленных из ГС (образец 4), мощность излучения увеличилась до 11,6 Вт при номинальном токе 12 А. При этом насыщение ВтАХ в интервале рабочих токов от 1 до 12 А на чипах ЛД не наблюдалось. Результаты измерения ВАХ (рис. 4-б) показали снижение U с 1,88 В до 1,74 В при токе 12 А на чипах, изготовленных из ГС с легированным волноводом. КПД при номинальном токе накачки 12 А составил 56%. Максимальный КПД чипов ЛД, изготовленных из ГС (образец 4) был достигнут при токе 5 А и составил 63 %.

На завершающем этапе исследовано влияние толщины р-эмиттера ГС на выходные характеристики чипов ЛД. Выращена ГС (образец 5) с уменьшенной толщиной р-эмиттера. Из образца 5 также были изготовлены чипы ЛД. Как показали измерения ВтАХ и ВАХ, выходная мощность излучения ЛД при этом не изменилась, а значение величины прямого напряжения снизилось до 1,63 В при токе 12А.

Таким образом, проведенная оптимизация конструкции чипа ЛД и ГС позволила повысить выходную мощность излучения чипов ЛД до 11,6 Вт при токе 12 А. Максимальный КПД чипов при этом составил 63 %. По результатам проведенных исследований ЛД с предложенной конструкцией чипа продемонстрировали увеличение порога КОДЗ резонатора.

1. Е. М. Филоненко, А. В. Фомин, С. А. Крюков, М. В. Лупачев. Лазерный диод. // Патент на изобретение RU2807419 от 14.11.2023 г.;
2. Н.А. Волков, Т.А. Багаев, Д.Р. Сабитов, А.Ю. Андреев, И.В. Яроцкая, А.А. Падалица и др. Полупроводниковые $\text{InGaAs}/\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ - лазеры ($\lambda=900\text{-}920\text{nm}$) с асимметричным волноводом и улучшенной вольт-амперной характеристикой // Квантовая электроника, 51, №10 сс. 905-908, (2021).
3. К.Ю. Телегин, М.А. Ладугин, А.Ю. Андреев, И.В. Яроцкая, Н.А. Волков, А.А. Падалица, А.В. Лобинцов, А.Н. Апарников, С.М. Сапожников, А.А. Мармалюк. Влияние легирования волновода на выходные характеристики лазерных излучателей на основе $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ // Квантовая электроника, Т. 50, № 5, 2020, с. 489-492.
4. Yu.K. Bobretsova, D.A. Veselov, A.A. Klimov, L.S. Vavilova, V.V. Shamakhov, S.O. Slipchenko, N.A. Pikhtin. Ultranarrow-waveguide $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}/\text{InGaAs}$ lasers // Quantum Electronics, 2019, Т. 49, №7, p.661 – 665.
5. Н.А. Волков, К.Ю. Телегин, Н.В. Гулькиков, Д.Р. Сабитов, А.Ю. Андреев, И.В. Яроцкая, А.А. Падалица, М.А. и др. Улучшение параметров вольт-амперной характеристики полупроводниковых лазеров $\text{InGaAs}/\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ ($\lambda=940\text{-}980 \text{ nm}$) с расширенным асимметричным волноводом // Квантовая электроника, т. 52, №2, 2022, с. 179-181.