

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
АО «НИИ «Полюс»  
им. М.Ф. Стельмаха»



Е.В. Кузнецов  
2016 г.

### Отзыв ведущей организации

на диссертацию Олещенко Владислава Александровича «Моделирование тепловых полей и экспериментальные исследования с целью повышения мощности инжекционных лазеров», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика.

Основной целью диссертационной работы Олещенко В.А. являлось исследование тепловых полей в мощных инжекционных лазерах. Проблема отвода от активной области лазерного кристалла тепловых потоков высокой плотности является одной из основных физических причин, ограничивающих выходную мощность и срок службы инжекционных лазеров.

В диссертации проводилось изучение конструкций лазерных диодов с применением различных типов теплоотводящих элементов с целью определения оптимальных вариантов, обладающих минимальным тепловым сопротивлением. В работе также проводилось моделирование полного к.п.д. лазерных диодов и оценка его влияния на спектральные параметры мощных диодных лазеров, температуру активной области и величину теплового сопротивления. В ходе трёхмерного моделирования решалась задача теплопроводности, определялись величины вклада отдельных элементов конструкции, в том числе алмазных сабмунтов, обладающих высокой теплопроводностью, с целью снижения тепловой нагрузки на активную область лазерного диода.

В соответствии с вышесказанным, актуальность темы диссертации Олещенко В.А. не вызывает сомнений, поскольку выходная мощность и эффективность лазерных диодов существенно зависят от температуры. Причем, температура активного слоя мощного лазерного диода при номинальных выходных параметрах в рабочей точке ватт-амперной характеристики в значительной степени определяет надёжность излучателей и продолжительность гарантированного срока их службы.

Работа состоит из введения, четырёх глав основного текста и заключения. Объём диссертации составляет 132 стр., в том числе 5 таблиц, 55 рисунков и 48 наименований списка использованной литературы.

Введение содержит обоснование актуальности, новизны, научной и практической ценности темы исследования и достоверности полученных результатов. В нём автором диссертационной работы аргументированно формулируются цели работы и защищаемые положения.

В первой главе автор излагает современное состояние вопроса создания мощных инжекционных лазеров, проблематики связанной с данным научно-техническим производством. Акцентирует внимание на вопросе оптических и тепловых нагрузок, которым подвергаются мощные диодные лазеры. Приводится описание различных подходов для решения задачи повышения выходных параметров и ресурса диодных лазеров. Определяется современный мировой уровень выходных параметров инжекционных лазеров для дальнейшей оценки полученных результатов.

Вторая глава посвящена расчёту полного к.п.д. и трёхмерному моделированию распределения тепловых полей по узлам мощного инжекционного лазера, в зависимости

от тепловой нагрузки. Анализируется температурный профиль во всей конструкции мощных диодных лазеров, включая полупроводниковый лазерный кристалл, слои металлизации и теплоотводящие элементы. Рассмотрена трёхмерная тепловая задача при использовании основных типов теплоотводящих элементов С-маунт и F-маунт. Показано влияние различных типов теплоотводящих элементов и величины тепловой нагрузки на среднюю температуру активной области, перепад температур по длине резонатора лазерного кристалла, температуры выходного и заднего зеркал резонаторов.

Отдельно освещен вопрос использования в конструкции мощных диодных лазеров сабмаунтов с большим диапазоном теплопроводностей, от согласованных по к.т.р. AlN, BeO и композитов CuW, CuMo до искусственных поликристаллических и монокристаллических алмазов, обладающих теплопроводностью в 3-6 раз выше, чем у меди. Проведённое для таких многоэлементных конструкций моделирование показало целесообразный диапазон теплопроводностей и геометрических параметров алмазных сабмаунтов. Указанные результаты обладают практической ценностью, так как дают возможность оценить обоснованность необходимости применения высококачественных и дорогостоящих монокристаллических алмазных сабмаунтов сравнительно больших размеров для решения вопроса охлаждения конструкции мощного лазерного диода.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям и проверке теоретического моделирования на практике в ходе испытаний лабораторных образцов мощных диодных лазеров, смонтированных на С-маунтах и F-маунтах. В том числе приводятся данные изучения мощных диодных лазеров, смонтированных с использованием искусственных plasma-CVD алмазов. В главе обзорно описываются разработанные технологии по обработке и металлизации, как самих теплоотводящих элементов, так и алмазных сабмаунтов. Анализируются выходные параметры мощных лазерных диодов, работающих, как в непрерывном, так и в импульсном режимах работы.

Приводятся рекордные значения непрерывной мощности, полученные благодаря комплексному подходу к решению задачи, начиная с моделирования условий эксперимента, до его реализации. Как итог теоретической и экспериментальной работы представлен подход, позволивший получить мощный диодный лазер с выходными характеристиками на уровне передовых мировых достижений в области лазерных диодов, что особенно ценно, без использования широко используемых термокомпенсаторов.

В четвёртой главе обсуждаются ресурсные испытания, полученных экспериментальных образцов мощных лазерных диодов. Данные кратковременных испытаний подтверждают надёжность изготовленных образов, и позволяют спрогнозировать срок их службы в несколько тысяч часов. В этой же главе приводятся сведения о методике температурно-токовой тренировки образцов, которая по экспериментальным наблюдениям, в ряде случаев, позволяет восстанавливать номинальные параметры мощных лазерных диодов с длиной волны 808 нм, обладавших низкими выходными параметрами при начальных измерениях. Эта методика, исходя из экспериментов автора, позволила полностью восстановить выходные параметры лазеров для более, чем 50 % экспериментальных образцов.

В заключении автором чётко сформулированы выводы и основные результаты работы.

По нашему мнению, несомненная ценность диссертационной работы В.А. Олещенко заключается в том, что соискателю удалось самостоятельно изготовить экспериментальные образцы мощных лазерных излучателей, провести численное моделирование их тепловых параметров и подтвердить на практике результаты расчетов.

Полученные в диссертации экспериментальные результаты по предельной и, так называемой, «ресурсной» выходной мощности непрерывных лазеров на актуальных длинах волн 808 нм и 970 нм находятся на уровне лучших мировых достижений.

Интересной, с точки зрения перспектив практического использования, выглядит рассчитанная, изготовленная и экспериментально изученная конструкция мощного

лазерного диода с применением сабмунта на основе бюджетных синтетических алмазов полученных в ИОФРАН методом plasma-CVD с более высокой, чем у меди теплопроводностью. Несмотря на достаточно скромные параметры использованных в работе алмазов и их структурное несовершенство, получены обнадёживающие результаты по выходной мощности и, главное, показана принципиальная возможность реализации «ресурсного» режима при использовании алмазного сабмунта, имеющего значительное рассогласование по коэффициенту температурного расширения с лазерным кристаллом.

К достоинствам работы следует отнести полученные результаты исследования зависимости широко используемого на практике параметра «тепловое сопротивление» от уровня накачки, выполненное для непрерывных лазерных диодов высокой мощности. Полученные результаты представляют интерес в методическом плане и вносят вклад в понимание границ применимости такого подхода для оценки тепловых параметров лазерных диодов.

В диссертации также получены интересные, и перспективные для производства, результаты по восстановлению номинальных параметров лазеров с длиной волны излучения 808 нм, забракованных по результатам первого измерения.

По диссертации следует сделать ряд замечаний:

1. В теоретических расчётах не затронута достаточно актуальная тема термоупругих напряжений, которые оказывают существенное влияние на выходные параметры лазеров. Указанное особенно важно вследствие того, что расчёт производился, в том числе для материалов с высокой теплопроводностью, в частности для алмазных сабмунтов, которые имеют коэффициент температурного расширения значительно меньший, чем материал лазерной гетероструктуры. Очевидно, что несоответствие коэффициентов температурного расширения материала лазерного кристалла и алмазного сабмунта негативно влияет на выходные параметры и ресурс лазера.

2. Приведённые в работе обзорные данные об использованных технологических решениях недостаточны для полного понимания того, какие технические решения обеспечили возможность получения приведённых рекордных экспериментальных результатов. В частности, не приведены детали технологии металлизации и монтажа.

3. Полученные в работе соотношения между теплопроводностью и геометрией сабмунтов имели бы повышенную практическую ценность в случае их оформления в виде параметрической зависимости.

4. Не представлены возможные механизмы восстановления параметров лазерных диодов при многоступенчатой методике тренировки, предложенной автором. По нашему мнению, исследование причин низкой эффективности работы данных приборов позволит повысить процент выхода годных лазерных диодов.

Сделанные замечания не ставят под сомнение основные результаты и выводы диссертационной работы и не снижают положительную оценку работы в целом.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, изложена последовательно, написана ясным и понятным языком. Диссертационная работа является законченным научным исследованием. Оригинальные физические результаты, полученные в ней, представляют непосредственный практический интерес для специалистов в области науки, техники и технологии полупроводниковых лазерных диодов. Достоверность проведённых расчётов подтверждается их хорошим согласованием с полученными экспериментальными данными.

По материалам диссертации опубликовано десять статей в журналах, рекомендованных ВАК, получен патент РФ, результаты докладывались соискателем лично на 5 международных конференциях.

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы организациями, занимающимися разработкой, исследованиями и производством полупроводниковых лазеров, в том числе Физико-техническим институтом им. А.Ф. Иоффе РАН, Научно-

исследовательским физико-техническим институтом (НГТУ им. Н.И. Лобачевского), ООО «НПП «Инжект», АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» и ЗАО «Полупроводниковые приборы».

Содержание автореферата правильно отображает основное содержание диссертации. Считаем содержание диссертации и её оформление соответствующим требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Олещенко В.А. – достойным присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика.

Диссертационная работа В.А. Олещенко заслушана и одобрена на заседании секции научно-технического совета «Полупроводниковые приборы» АО «НИИ «Полюс» №07 от 01.11.2016.

Председатель секции научно-технического совета  
«Полупроводниковые приборы»  
АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»,  
кандидат технических наук

Владимир Александрович Симаков

Начальник НТЦ  
АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»,  
доктор технических наук

Александр Анатольевич Мармалюк

АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха  
117342, г.Москва, ул. Введенского 3 копр. 1  
Тел. (495) 333-00-57  
e-mail: marmalyuk@siplus.ru

## Список

публикаций ведущей организации, опубликованных за последние годы по теме диссертации Олещенко Владислава Александровича «Моделирование тепловых полей и экспериментальные исследования с целью повышения мощности инжекционных лазеров», предоставленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика

1. ИМПУЛЬСНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР ИК ДИАПАЗОНА С НАКАЧКОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ НА ОСНОВЕ КВАНТОВОРАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ INGAAS/ALGAAS Зверев М.М., Гамов Н.А., Жданова Е.В., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Перегудов Д.В., Студенов В.Б. Оптика и спектроскопия. 2011. Т. 111. № 2. С. 212-213.
2. КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР ALGAAS/INGAAS/GAAS С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАКАЧКОЙ Зверев М.М., Вальднер В.О., Гамов Н.А., Жданова Е.В., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Перегудов Д.В., Студенов В.Б. Оптика и спектроскопия. 2013. Т. 114. № 6. С. 923.
3. ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ С НЕСКОЛЬКИМИ ИЗЛУЧАЮЩИМИ ОБЛАСТЬЯМИ ( $\lambda$ =800-1100 нм) НА ОСНОВЕ ЭПИТАКСИАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР Мармалюк А.А., Давыдова Е.И., Зверков М.В., Коняев В.П., Кричевский В.В., Ладугин М.А., Лебедева Е.И., Петров С.В., Сапожников С.М., Симаков В.А., Успенский М.Б., Яроцкая И.В., Пихтин Н.А., Тарасов И.С. Физика и техника полупроводников. 2011. Т. 45. № 4. С. 528-534.
4. ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ( $\lambda$ =808 нм) НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР ALGAAS/GAAS Мармалюк А.А., Андреев А.Ю., Коняев В.П., Ладугин М.А., Лебедева Е.И., Мешков А.С., Морозюк А.Н., Сапожников С.М., Данилов А.И., Симаков В.А., Телегин К.Ю., Яроцкая И.В. Физика и техника полупроводников. 2014. Т. 48. № 1. С. 120-124.
5. NEAREST-IR SUPERLUMINESCENT DIODES WITH A 100-NM SPECTRAL WIDTH Il'Chenko S.N., Ladugin M.A., Marmalyuk A.A., Yakubovich S.D. Quantum Electronics. 2012. Т. 42. № 11. С. 961-963.2
6. РЕШЕТКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ С ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ И ЯРКОСТЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭПИТАКСИАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР Коняев В.П., Мармалюк А.А., Ладугин М.А., Багаев Т.А., Зверков М.В., Кричевский В.В., Падалица А.А., Сапожников С.М., Симаков В.А. Физика и техника полупроводников. 2014. Т. 48. № 1. С. 104-108.
7. ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ( $\lambda$ =808 нм) НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР ALGAAS/GAAS Мармалюк А.А., Андреев А.Ю., Коняев В.П., Ладугин М.А., Лебедева Е.И., Мешков А.С., Морозюк А.Н., Сапожников С.М., Данилов А.И., Симаков В.А., Телегин К.Ю., Яроцкая И.В. Физика и техника полупроводников. 2014. Т. 48. № 1. С. 120-124.
8. Леднёв В.Н., Гришин М.Я., Першин С.М., Бункин А.Ф., Капустин И.А., Мольков А.А., Ермаков С.А., 2016. Лидарное зондирование пресноводной акватории с высокой концентрацией фитопланктона. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 13(1), с.119–134.

9. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОГО ЛАЗЕРА-ТИРИСТОРА, ИЗЛУЧАЮЩЕГО В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 890-910 НМ Слипченко С.О., Подоскин А.А., Васильева В.В., Пихтин Н.А., Рожков А.В., Горбатюк А.В., Золотарев В.В., Веселов Д.А., Жаботинский А.В., Петухов А.А., Тарасов И.С., Багаев Т.А., Зверков М.В., Коняев В.П., Курнявко Ю.В., Ладугин М.А., Лобинцов А.В., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Симаков В.А. и др. Физика и техника полупроводников. 2014. Т. 48. № 5. С. 716-718.
10. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИОДЫ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 750 — 800 НМ Ильченко С.Н., Костин Ю.О., Кукушкин И.А., Ладугин М.А., Лапин П.И., Лобинцов А.А., Мармалюк А.А., Якубович С.Д. Квантовая электроника. 2011. Т. 41. № 8. С. 677-680.
11. ЛИНЕЙКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР ALGAPAS/GAAS С КОМПЕНСАЦИЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ Мармалюк А.А., Ладугин М.А., Яроцкая И.В., Панарин В.А., Микаелян Г.Т. Квантовая электроника. 2012. Т. 42. № 1. С. 15-17.
12. ЛИНЕЙКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР ALGAAS/GAAS ( $\lambda = 808$  НМ) С ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ Мармалюк А.А., Ладугин М.А., Андреев А.Ю., Телегин К.Ю., Яроцкая И.В., Мешков А.С., Коняев В.П., Сапожников С.М., Лебедева Е.И., Симаков В.А. Квантовая электроника. 2013. Т. 43. № 10. С. 895-897.
13. МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 850 – 870 НМ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР С УЗКИМИ И ШИРОКИМИ ВОЛНОВОДАМИ Ладугин М.А., Коваль Ю.П., Мармалюк А.А., Петровский В.А., Багаев Т.А., Андреев А.Ю., Падалица А.А., Симаков В.А. Квантовая электроника. 2013. Т. 43. № 5. С. 407-409.
14. НЕПРЕРЫВНЫЕ МОЩНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ЛИНЕЙКИ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 750 – 790 НМ Дегтярева Н.С., Кондаков С.А., Микаелян Г.Т., Горлачук П.В., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Рябоштан Ю.Л., Яроцкая И.В. Квантовая электроника. 2013. Т. 43. № 6. С. 509-511.

Ученый секретарь  
АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»,  
кандидат физико-математических наук

Ю.А. Кротов

Подпись Кротова Ю.А. заверяю:

Начальник отдела по развитию персонала

Л.Е. Лаврентьева

АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»  
117342, г. Москва, ул. Введенского 3, корп. 1  
Тел. (495) 333-00-57  
e-mail: kryuri@yandex.ru

