

ОТЗЫВ

Официального оппонента, доктора физико-математических наук,
ведущего научного сотрудника лаборатории 333 отдела 330
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А. В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»,
на диссертацию Панарина Вадима Александровича
**«Мощные источники спектрально узкополосного излучения на
основе интегрированных диодных лазеров»**,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук
по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Диссертационная работа Панарина Вадима Александровича посвящена исследованиям мощных диодных лазеров с узкой шириной спектральной линии излучения, которая достигается за счёт использования объёмной отражательной решётки показателя преломления в качестве выходного зеркала резонатора.

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания мощных диодных лазерных излучателей с контролируемым узкополосным спектром излучения для решения практически-важных задач, таких как накачка мощных лазеров на парах щелочноземельных элементов или атомов инертных газов. Для эффективной накачки таких сред при приемлемых рабочих давлениях газа требуются мощные источники спектрально узкополосного излучения, сравнимого по ширине спектра с полосой поглощения газовой среды.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1 Исследовано влияние отклонения излучающих областей отдельных диодов в линейке от их расположения вдоль линии р-п перехода на эффективность оптического согласования пучка излучения с внешней селективной частью резонатора.

2 Разработан метод расчёта комплексных собственных частот продольных мод диодного лазера с внешним резонатором, который использован для анализа многоэлементного резонатора с фазовой решёткой и коллиматором пучка излучения по быстрой оси.

3 Оптимизирована дифракционная эффективность фазовой решётки для устойчивого контроля частоты генерации линейки лазерных диодов во

внешнем резонаторе. Показано, что повышенная дифракционная эффективность решётки уменьшает её спектральную селективность, а низкая эффективность влечёт за собой понижение устойчивости спектра из-за больших перескоков частоты генерации.

4 Проведены теоретическое моделирование и экспериментальное исследование линейки диодных лазеров с внешним резонатором, содержащим фазовую решётку, в режиме усиленного спонтанного излучения. Рассчитанный спектр коррелирует с экспериментальными результатами.

5 Предложена и экспериментально реализована методика контроля и способ уменьшения изгиба излучающей области линейки лазерных диодов, применение которых позволило увеличить степень согласования лазерной линейки с внешней частью резонатора.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

На основе достигнутых соискателем результатов теоретических и экспериментальных исследований созданы мощные компактные спектрально узкополосные диодно-лазерные источники излучения и показана возможность их масштабирования. Мощности непрерывного излучения при масштабировании указанных источников превысила 2 кВт. При использовании такого класса излучателей в качестве узкополосного источника оптической накачки в лазере на парах щелочноземельных элементов получена генерация киловаттного уровня мощности.

Результаты проведенных исследований использованы также при создании лазерного диодного излучателя для спин-обменной оптической накачки благородных газов, применяемой в магнитно-резонансной томографии.

Достоверность полученных результатов в данной диссертационной работе не вызывают сомнений. **Методы исследований** сочетают теоретические расчёты и численные оценки с экспериментальными работами и созданием устройств с заданными характеристиками. Исследования и разработки проводились на современном научно-технологическом оборудовании с использованием современных средств измерений и вычислений. Проведён также анализ результатов выполненных ранее работ других авторов в данной области. Методология работы включает в себя все этапы подготовки экспериментальных образцов диодных лазеров, фазовых решеток, селективного лазерного резонатора, измерения спектральных и мощностных характеристик с последующим анализом полученных результатов.

Опубликование и представление результатов диссертации

Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и представлены соискателем на российских и международных конференциях.

По результатам диссертационной работы проведены разработки новых излучателей, некоторые из которых размещены в электронном каталоге научно-производственного предприятия «Инжект».

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка используемой литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность проведённых исследований, сформулированы цели и задачи работы. Указана недостаточная степень разработанности темы исследования. Убедительно обоснованы научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В главе 1 представлен обширный аналитический обзор литературы, относящейся к внутрирезонаторной спектральной селекции излучения полупроводниковых инжекционных лазеров, из которого вытекает актуальность проведённых Панариным В. А. исследований.

В главе 2 исследованы критические параметры линейки лазерных диодов, влияющие на характеристики внешнего селективного резонатора. Приведены результаты исследований согласования лазерного диода со спектрально селективным зеркалом – объёмной брэгговской решёткой, которые позволили автору разработать резонатор с малыми внутренними оптическими потерями.

В главе 3 приведены основные результаты экспериментальных исследований оптических характеристик мощных лазерных диодов во внешнем резонаторе с селективным отражателем на основе брэгговской решётки. Некоторые результаты получены Панариным В. А. впервые.

В главе 4 представлен результат теоретического анализа структуры продольных мод линейки лазерных диодов с внешним резонатором на основе брэгговской решётки.

В приложении описаны промышленно выпускаемые предприятием ООО «НПП «ИНЖЕКТ» изделия, разработанные на основе исследований, выполненных в данной диссертационной работе.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и даны рекомендации по направлениям дальнейших исследований, которые могут относиться к выяснению причин, ограничивающих дальнейшее

увеличение мощности узкополосных диодных лазеров с высокой яркостью, и к поиску экспериментальных и технологических путей их преодоления.

Таким образом, можно заключить, **что обоснованность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертационной работе, не вызывают сомнений.

К настоящей диссертационной работе имеются некоторые замечания:

1 Теоретические расчёты коэффициента отражения объёмной решётки выполнены в плоско-волновом приближении по идеологии, близкой к ранее применённой Когельником для расчетов двухволнового взаимодействия на голографической решётке. Однако при экспериментальной реализации устройства пучок излучения диода достаточно сильно отличается от плоской волны, особенно в направлении “медленной оси” из-за поперечной многомодовости излучения. В связи с этим, можно было бы провести оценку влияния кривизны волнового фронта пучка (или наклонных лучей) на селективность решётки и согласование её отражения с модой лазерного диода.

2 Хотелось бы видеть более полный анализ влияния нагрева объёмной решётки на характеристики излучения диодного лазера с такой решёткой. Так, например, в результате экспериментальных измерений выявлен дрейф длины волны излучения диодной линейки при росте тока накачки. В качестве гипотезы указано возможное влияние температурных изменений на период решётки, однако какие-либо оценки этого эффекта отсутствуют.

3 Не приведено описание технологии создания объёмной брегговской решётки, которая использована в качестве внешнего селективного зеркала в настоящей работе. В этой связи представляет также интерес сравнение технологии создания таких решёток другими группами (в частности, американской компанией “OptiGrate”) и характеристик аналогичных устройств с такими решётками.

4 В целом, диссертация написана достаточно понятным и простым языком. Однако в тексте встречаются отдельные опечатки и стилистические погрешности. Например, довольно сложно и не очень понятно, на мой взгляд, сформулировано положение 2, выносимое на защиту.

Вышеперечисленные замечания носят частный характер, не умаляют достоинств работы и не влияют на общую высокую оценку диссертации. Результаты имеют как научную новизну, так и существенную практическую значимость. Результаты работы изложены в статьях, опубликованных в российском журнале “Квантовая электроника”, при этом можно сказать, что работа выполнена на высоком мировом уровне.

Заключение

По теме диссертационной работы опубликовано 6 журнальных статей, получен патент РФ на изобретение. В одной из статей Панарин В.А. является первым автором. Результаты работы докладывались на крупных научных конференциях. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа «Мощные источники спектрально узкополосного излучения на основе интегрированных диодных лазеров» Панарина Вадима Александровича является самостоятельной и завершённой научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и практической ценностью. Работа соответствует всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г. (ред. от 16.10.2024), предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Автор диссертационной работы Панарин Вадим Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата Физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Антипов Олег Леонидович,

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.21 “Лазерная физика”, ведущий научный сотрудник лаборатории 333 отдела 330 Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»,

Адрес: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», (ИПФ РАН), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46.

Телефон: 8 (831)416-06-16, эл. почта: den@ipfran.ru

Антипов О.Л.

29.04.2025

Подпись Антипова О.Л. удостоверяю:

Учёный секретарь ИПФ РАН

Корюкин И.В.

29.04.2025