

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Светикова Владимира Васильевича «Селекция мод и управление спектром излучения полупроводниковых лазеров методами планарной волноводной оптики», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Светикова В.В. посвящена разработке и экспериментальному изучению внешних резонаторов полупроводниковых лазеров, в которых используются принципы планарной волноводной оптики для селекции поперечных мод широкополосковых, широкоапертурных секционированных полупроводниковых лазеров, а также для селекции продольных мод в маломощных планарных полупроводниковых лазерах.

Актуальность данной работы связана с возросшей в последнее время актуальностью высокоэффективных малогабаритных источников лазерного излучения высокой яркости, востребованность которых в наибольшей степени проявляется в системах машинного зрения, беспроводной телекоммуникации, в задачах мобильной биомедицинской диагностики, а также в связи с актуальностью разработки малогабаритных источников лазерного излучения для перспективных задач интеграции элементов АЗВБ в микроэлектронные устройства, изготовленные по КМОП совместимым технологиям.

Изученные в работе режимы лазерной генерации в условиях различного согласования амплитудно-фазового распределения излучения обратной связи с филаментами на выходном торце лазерного диода в режимах без и со спектральной селекцией пучка обратной связи, а также исследование генерации в режиме резонансного взаимодействия пучка обратной связи с периодической структурой связанных одномодовых излучателей представляет несомненный научный интерес для разработки новых конструкций лазерных резонаторов.

Научной новизной работы Светикова В.В. является исследование резонансного взаимодействия пучка обратной связи с самоорганизующейся филаментной структурой широкополосковых лазерных диодов в условиях без спектральной селекции пучка обратной связи (ОС) и со спектральной селекцией пучка ОС, определение оптимальных условий взаимодействия для селекции поперечных мод в условиях спектрально неселективной ОС. Новизной является также исследование планарных резонаторов без внутренних фокусирующих элементов, в которых обратная связь осуществляется планарным спектрально-фазовым зеркалом на основе планарной голограммы. Было показано, что параметры выходного пучка широкополосковых ЛД с самоорганизующейся структурой филаментов на выходном торце ЛД могут определяться в широком диапазоне токов накачки заданным амплитудно-фазовым распределением пучка ОС. Полученные в работе результаты имеют большой практический потенциал для применения в малогабаритных устройствах беспроводной передачи данных, оптической локации и для перспективных микропроцессорных устройств с оптической шиной передачи данных.

Диссертация Светикова В.В. состоит из введения, литературного обзора, пяти глав с результатами работы, заключения и списка цитированной литературы. Во введении сформулированы цель работы, отражена актуальность проводившихся исследований, отмечена практическая значимость результатов, отражены методы решения поставленных задач, приведены краткие итоги работы.

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме диссертационной работы. Рассмотрены проблемы широкополосковых лазерных диодов и подходы в создании многочастотных лазерных источников для задач телекоммуникации. В этой же главе содержатся мотивы выполнения диссертационной работы.

Вторая глава состоит из двух частей. В первой части главы приведены результаты исследования лазерной генерации отдельно стоящего лазерного диода без внешнего резонатора, во второй части приведены результаты по изучению лазерной генерации в резонаторе, в котором реализуется резонансное взаимодействие спектрально неселективного пучка обратной связи с филаментной структурой широкополоскового лазерного диода в геометрии асимметричного двухплечевого резонатора. В проведённых экспериментах было установлено распределение интенсивности свечения на выходном торце ЛД, определено распределение филаментов на торце, определены углы разворота зеркала обратной связи в асимметричном двухплечевом резонаторе, при которых возникает лазерная генерация и определены её параметры. Было показано, что наибольшая эффективность селекции поперечных мод наблюдается только для углов возврата пучка ОС меньших брэгговского. Для брэгговского условия наряду с селекцией моды высокого порядка наблюдалась генерация на основной моде.

Третья глава посвящена экспериментам по изучению лазерной генерации широкоапертурного секционированного ЛД в резонаторах со спектрально селективным и неселективным зеркалами ОС. Глава состоит из пяти частей. В первой части приведён анализ спектральных свойств секционированной структуры лазерного диода с позиции толстой дифракционной решётки, проведённой в рамках выводов теории связанных волн Г. Когельника, показана спектральная селективность секционированной структуры в двухплечевом резонаторе, приведены оценки спектральных параметров структуры для реального лазерного диода. Во второй части приведены результаты исследований генерации лазерного диода в резонаторе Фабри-Перо. В третьей и четвёртой частях приведены результаты исследований лазерной генерации в асимметричном и симметричном двухплечевых резонаторах. В четвёртой части приведены результаты лазерной генерации со спектрально селективным зеркалом ОС в асимметричном резонаторе, показана перестройка длины волны лазерного излучения. Был показан дискретный характер зависимости лазерной генерации от угла разворота зеркала обратной связи, показана моно- и много-пучковая лазерная генерация. Измеренный диапазон перестройки длины волны оказался очень близок к оценке спектрального интервала между двумя спектральными минимумами дифракционной эффективности секционированной структуры лазерного диода.

Четвёртая глава посвящена экспериментальному исследованию лазерного излучения широкополоскового лазерного диода в резонаторе со спектрально селективным зеркалом обратной связи. Для экспериментов использовалась трёхзеркальная схема,

реализующая асимметричный двухплечевой резонатор. В качестве спектрально селективного элемента использовалось волноводно-решёточное зеркало (ВРЗ). Были исследованы резонаторы с двумя вариантами взаимодействия внутрирезонаторного излучения с волноводно-решёточным зеркалом: коллинеарное и неколлинеарное. Для коллинеарного взаимодействия с ВРЗ, последнее рассчитывалось таким образом, чтобы 100% отражение от зеркала происходило для ТМ-излучения при угле падения Брюстера. Неколлинеарное падение на ВРЗ реализовывалось для ТЕ-излучения. В главе приведены подробные экспериментальные исследования спектральных параметров использовавшихся волноводно-решёточных зеркал и показаны результаты измерений спектров генерации, расходимости и перестройки лазерного излучения в исследованных резонаторах. Было показано, что эффективность селекции поперечной моды примерно одинакова для обоих случаев, однако наибольшее сужение спектральной линии и максимальный диапазон перестройки спектра наблюдался для коллинеарного взаимодействия с ВРЗ.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию планарных резонаторов широкополосковых лазерных диодов, в которых внешним планарным зеркалом создаётся заданное амплитудно-фазовое распределение сигнала обратной связи на выходном торце лазерного диода с шириной полоска 100мкм. Для этого в экспериментах использовалось внешнее зеркало на основе волноводной планарной числовой голограммы. Глава состоит из трёх основных разделов. В первом разделе приведены результаты экспериментального исследования лазерной генерации полупроводникового диода без внешнего резонатора, лазерного диода с глубоким просветлением выходной грани, лазерная генерация в котором осуществлялась при отражении от торца планарного SiO₂-волновода. В этом же разделе приведены результаты измерений параметров генерации при создании на торце ЛД амплитудно-фазового распределения, близкого к прямоугольному с основанием 80мкм. Во втором разделе приведены результаты исследований лазерной генерации при формировании на торце ЛД амплитудно-фазового распределения моды высокого порядка с фазовым периодом 11мкм. В третьем разделе приведены результаты исследований лазерной генерации при создании спектрально селективного отражения обратной связи без фазовой селекции, осуществляемой волноводной планарной брегговской решёткой, расположенной перпендикулярно оси ЛД. Важным результатом исследований является демонстрация управления поперечной модой, определяющей выходной пучок, волноводными планарными элементами, формирующими заданное спектрально селективное амплитудно-фазовое распределение пучка обратной связи на выходном торце ЛД. В частности показана генерация на основной поперечной моде и на моде высокого порядка с фазовым периодом, примерно равным периоду расположения филаментов на выходном торце ЛД. Кроме этого показана лазерная генерация преимущественно на поперечной моде высокого порядка с фазовым периодом, равным удвоенному периоду расположения филаментов в резонаторе со спектральным зеркалом на основе волноводной планарной брегговской решётки. Также показано, что генерация происходит на фоне конкуренции волноводной моды и моды утечки внешнего волноводного зеркала.

Шестая глава работы посвящена разработке и исследованию резонатора для лазера со спектром излучения, состоящим из заданных эквидистантно расположенных

спектральных линий генерации. Для этого использовался внешний резонатор на основе волноводного аналога эшелона Майкельсона. Глава состоит из трёх основных разделов. В первом разделе приведены основные уравнения в рамках скалярного описания работы волноводного эшелона Майкельсона, описывающих связь геометрических и спектральных параметров волноводной структуры. Во втором и третьем разделах приведены результаты исследований резонаторов, в которых волноводная структура выполняет функции, соответственно, тыльного зеркала и выходного зеркала. В главе показана селекция продольных мод с полным подавлением собственных мод лазерного чипа и показана возможность генерации в двух соседних интерференционных порядках волноводного эшелона Майкельсона. Последнее обстоятельство является крайне важным, открывающим путь к созданию многочастотных лазерных источников с шириной спектра во много раз превышающим свободный спектральный диапазон используемого эшелона Майкельсона.

Следует отметить следующие замечания к работе:

В работе делается акцент на исследовании влияния амплитудно-фазового распределения на торце ЛД на параметры генерируемого лазерного излучения. Представлены детальные исследования распределения интенсивности на торце изолированного ЛД, однако отсутствуют данные о распределении интенсивности излучения на торце лазерного диода в резонаторе со спектрально неселективным зеркалом ОС (глава 2) и в резонаторах с волноводными планарными голограммами (глава 4). Указанные данные являлись бы существенным дополнением к общему экспериментальному материалу.

Не во всех главах работы приводится подробное описание измерительных схем. В частности в главе 4 не приведена методика измерения параметра M^2 . Известно, что разные методики дают разное значение для этого параметра.

Тем не менее, эти замечания не носят принципиального характера и не снижают научной значимости работы. По теме диссертации опубликовано 8 работ в ведущих рецензируемых журналах, 2 работы в сборниках SPIE.

В автореферате диссертации перечислены научная новизна, практическая значимость, цели диссертационной работы и кратко приведены основные полученные в работе результаты. Также приведен список публикаций автора в журналах и сборниках тезисов. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Светикова В.В. «Селекция мод и управление спектром излучения полупроводниковых лазеров методами планарной волноводной оптики» отвечает всем требованиям ВАК РФ, а ее автор Светиков Владимир Васильевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 (лазерная физика).

Отдел люминесценции
им. С.И. Вавилова
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Физического института
им. П.Н. Лебедева Российской
академии наук,
высококвалифицированный
ведущий научный сотрудник,
профессор, д.ф.-м.н

06.11.2018



Казарян Мишик
Айразатович

Федеральное бюджетное государственное учреждение науки Физический институт им.
П.Н. Лебедева Российской академии наук
119991 ГСП-1 г. Москва, Ленинский пр-т. 53, ФИАН

Тел.: +7(499)132-64-32 e-mail: kazar@sci.lebedev.ru

Подпись Казаряна Мишика Айразатовича удостоверяю

Ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Физического института
им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук

06.11.2018



Колобов
Андрей Владимирович

С отливом ознакомлен.

[Светиков В.В.]

14 ноября 2018г.