

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Тер-Мартirosяна Александра Леоновича

«Мощные источники лазерного излучения на основе квантоворазмерных гетероструктур»,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

### **Актуальность темы**

В различных областях науки и техники, таких как дальняя (космическая) и ближняя связь, обработка материалов, автоматика, дальнометрия, медицина, геология, спектроскопия мощные полупроводниковые лазерные диоды предпочтительнее, чем газовые или твердотельные лазеры вследствие малости их размеров и веса, высокой эффективности (КПД порядка 50%), малого энергопотребления и возможности прямой модуляции интенсивности излучения. Полупроводниковые инжекционные лазеры наряду со светодиодами являются единственными приборами, в которых электрическая энергия непосредственно преобразуется в энергию оптического излучения. Количество применений мощных лазерных диодов неуклонно растет, что требует постоянного совершенствования их основных характеристик – выходной оптической мощности, диаграммы направленности излучения и срока службы. Совершенствование характеристик лазерных диодов невозможно без развития конструкций и технологий выращивания эпитаксиальных наногетероструктур, позволяющих с минимальными дефектами формировать гетерослои с заданным содержанием основных элементов и легирующих примесей. Оптимизация конструкции гетероструктур для достижения максимальной выходной оптической мощности излучения является предметом пристального внимания исследователей с момента их создания и до настоящего времени. Вышесказанное определяет безусловную актуальность темы диссертации Тер-Мартirosяна А.Л., цель которой состояла в разработке мощных полупроводниковых источников лазерного излучения, твердотельных лазеров с диодной накачкой, а также высокоэффективных медицинских лазерных аппаратов.

### **Основные научные результаты и их новизна**

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, показаны ее научная новизна и практическая ценность, приведены сведения об апробации работы, выносимые на защиту научные положения и показан личный вклад автора.

Первая глава представляет собой обзор литературы, посвященный описанию основных характеристик и технологических аспектов изготовления мощных лазерных диодов и линеек.

Во второй главе представлены результаты анализа термических механизмов, ограничивающих выходную мощность полупроводниковых лазеров.



Третья глава посвящена детальному анализу работы и оптимизации характеристик квантоворазмерных лазерных гетероструктур с симметричным и асимметричным волноводами.

В четвертой главе проведен детальный тепловой анализ работы и рассмотрены возможные варианты оптимизации теплоотводов для мощных лазерных диодов.

В пятой главе приведены результаты исследования излучательных характеристик лазерных диодов, линеек и матриц, работающих в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра.

Шестая глава посвящена описанию разработанных конструкций и характеристик твердотельных лазеров с накачкой лазерными диодами и линейками.

В заключительной главе приводится описание основных технических решений, использованных при разработке высокоэффективных медицинских лазерных аппаратов, системы контроля температуры рабочего торца оптоволокна и устройства для визуализации пространственного распределения флуоресценции.

В диссертационной работе получен целый ряд результатов, отличающихся существенной новизной и практической значимостью, среди которых следует выделить следующие:

1. С помощью математического моделирования показано, что уменьшение концентрации носителей заряда, инжектированных в волноводный слой мощных непрерывных лазерных диодов и, следовательно, снижение поглощения на свободных носителях заряда, можно получить как дополнительным легированием волновода, так и изготовлением волноводных слоев с градиентными составами, причем последний подход является более перспективным из-за наличия встроенного электрического поля, ускоряющего движение НЗ в ГС.
2. Установлено, что при непрерывной инжекционной накачке ЛД, питаемого на теплоотвод эпитаксиальными слоями вниз, температура активной области определяется тепловым сопротивлением эмиттера и тепловым сопротивлением теплоотвода. Если теплоотвод не даёт доминирующего вклада в тепловое сопротивление ЛД, лазерные ГС, выполненные из твёрдых растворов AlGaAs имеют преимущество по тепловому сопротивлению относительно безалюминиевых ГС на основе InGaAsP, из-за более высокой теплопроводности используемых материалов.
3. Показано, что использование алмазного термокомпенсатора, усиливающего латеральное растекание тепла, оказывается эффективным только в том случае, когда ширина сабмаунта заметно превышает ширину полоскового контакта мощного лазерного диода.
4. Установлено, что использование пирометрического сенсора на основе иммерсионного фотодиода среднего ИК-диапазона, интегрированного в драйвер лазерного модуля с оптоволоконным выходом, обеспечивает повышение надежности и функциональности лазерных систем за счет непрерывного контроля температуры на торце оптоволокна, подключаемого для доставки лазерного излучения к облучаемой площадке или объекту.



5. Показано, что визуализация пространственного распределения флуоресценции при диагностике и лечении методами фотодинамической терапии позволяет наблюдать в реальном времени процесс взаимодействия накопленного в биоткани фотосенсибилизатора с оптическим излучением, определять момент окончания процедуры и избегать передозировки при проведении сеанса.

Следует отметить, что содержание диссертационной работы доступно широкому кругу специалистов в области физики полупроводников. Достоверность полученных результатов, а также положений, выносимых на защиту, подтверждается результатами испытаний мощных лазерных диодов и линеек, твердотельных лазеров и медицинских лазерных аппаратов. Не вызывает сомнения, что полученные в диссертации результаты исследований послужат основой для создания новых приборов на основе мощных инжекционных лазеров.

Работы, положенные в основу диссертации, опубликованы в реферируемых журналах и докладывались на международных и отечественных научно-о-практических конференциях. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Тематика диссертации соответствует специальности 01.04.01 – (приборы и методы экспериментальной физики).

#### **Замечания:**

1. В третьей главе приводятся энергетические и пространственные параметры и характеристики излучения мощных лазерных диодов, в то время как для пользователя часто представляют интерес и другие характеристики источника излучения – спектральные, корреляционные (поляризация, когерентность);
2. Четвертая глава диссертации посвящена тепловому анализу работы теплоотводов для мощных лазерных диодов. К сожалению, в работе не рассматриваются активные теплоотводы с микроканальным жидкостным охлаждением, позволяющие весьма эффективно отводить тепло от полупроводниковых приборов;
3. В пятой главе сообщается о создании лазерных диодов красного диапазона спектра на основе конструкции “мелкая меза с дополнительной изоляцией”, которая обеспечивает высокую температурную и пространственно-временную стабильность излучения в ближнем и дальнем полях, большой срок службы и низкий уровень шумов. В работе отсутствует информация о том, какая конструкция лазерного чипа использовалась при изготовлении мощных непрерывных лазерных диодов с длиной волны 808 нм.
4. В седьмой главе диссертации описаны различные способы суммирования лучей дискретных лазерных диодов с последующим вводом излучения в оптическое волокно. Из приведенных оптических схем не понятно, можно ли аналогичным образом суммировать излучение лазерных линеек?
5. По тексту диссертации встречаются терминологические неточности. Так, например, под оптической осью в оптике понимают направление в двулучепреломляющих материалах, в котором отсутствует анизотропия. В диссертации, когда идет речь об

оптических схемах, необходимо, очевидно, употреблять понятие геометрической оси. Или, термин «флуоресценция» употребляется при импульсном режиме работы источника излучения. Если имеет место непрерывный режим излучения источника, то употребляется термин «люминесценция».

Упомянутые замечания не снижают общую положительную оценку диссертации в целом. Работа выполнена на высоком научном уровне и качественно оформлена.

### **Заключение**

Считаю, что диссертационная работа А.Л.Тер-Мартirosяна «Мощные источники лазерного излучения на основе квантоворазмерных гетероструктур» по своей актуальности, новизне и практическому значению полученных результатов соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям согласно «Положению о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Тер-Мартirosян Александр Леонович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

Зав. кафедрой «Твердотельной оптоэлектроники» Санкт-Петербургского  
Университета ИТМО, заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор



В.Т. Прокопенко

27 октября 2014 года.

Подпись В.Т. Прокопенко заверяю:

Начальник ОК Университета ИТМО



О.В.Котусева

28 октября 2014г