

## **Отзыв официального оппонента**

о диссертационной работе

КИРЕЧЕНКО (Бобрецовой) Юлии Константиновны

«Внутренние оптические потери в мощных полупроводниковых лазерах на основе AlGaAs/InGaAs/GaAs гетероструктур» представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11-физика полупроводников

### **Актуальность темы диссертации.**

Диссертация посвящена изучению физических механизмов, определяющих мощность излучения полупроводниковых лазеров на основе гетероструктур AlGaAs/InGaAs/GaAs, что позволяет, в принципе, улучшать один из основных параметров, характеризующих работу таких лазеров. Мощность полупроводниковых лазеров пропорциональна произведению разности между током инжекции и пороговым током, на величину дифференциальной квантовой эффективности, которая в свою очередь тем больше, чем меньше внутренние оптические потери в лазере, т.е. чем меньше поглощение лазерного излучения внутри него. Актуальность темы диссертации обусловлена тем, что в мощных полупроводниковых лазерах поглощение излучения в их волноводах возрастает по мере увеличения плотности тока инжекции, а в некоторых случаях и интенсивности излучения. Поэтому очень важно и актуально экспериментально измерить коэффициенты поглощения в волноводах мощных лазеров в зависимости от их параметров, от величины плотности тока инжекции и температуры. Именно этим измерениям и сопоставлению полученных результатов с результатами теоретических расчетов посвящена диссертация.

### **Достоверность полученных результатов.**

Для проведения экспериментов была разработана и собрана экспериментальная установка, позволившая измерять коэффициенты поглощения зондирующего излучения (с длиной волны незначительно превышающей длину волны излучения самого лазера) вводимого в волновод работающего лазера. Установка позволяет проводить измерения коэффициентов поглощения вплоть до плотностей токов более чем на порядок превышающих плотность порогового тока. Точность измерения коэффициента поглощения зондирующего излучения

(и соответственно его изменения) составила  $\sim 0.1\text{см}^{-1}$ , что, безусловно, говорит об уникальности собранной установки. Достоверность полученных экспериментальных результатов гарантируется большими возможностями собранной установки вместе с отработанной методикой выращивания, процессирования и определения параметров (профили показателя преломления, толщины слоев, уровни легирования) лазерных структур в лаборатории, где работает диссертантка.

В пользу достоверности и новизны полученных результатов свидетельствует то, что результаты исследований автора диссертации многократно докладывались на Российских и международных конференциях и публиковались в высокорейтинговых научных журналах.

### **Новизна полученных результатов.**

Рецензируемая диссертационная работа содержит 5 глав (включая обзор литературы – глава 1). Глава 2 посвящена вопросам конструирования и предварительного тестирования нескольких типов лазерных гетероструктур, удовлетворяющих ряду требований, предъявляемым к мощным полупроводниковым лазерам. А в главе 3 приведены основные результаты экспериментов по исследованию созданных структур. До выполнения диссертационной работы отсутствовали прямые экспериментальные данные касающиеся поведения внутренних оптических потерь (коэффициента поглощения  $\alpha_{in}$ ) и внутренней квантовой эффективности ( $\eta_i$ ) в зависимости от плотности тока инжекции ( $j$ ), температуры и параметров (коэффициентов преломления слоев гетероструктур, толщин и уровней легирования слоев). Собранная экспериментальная установка и наличие нескольких лазерных гетероструктур, как с расширенными, так и сверхузкими волноводами, позволила автору диссертации получить оригинальные (мне не доводилось видеть в литературе таких экспериментальных кривых) зависимости  $\alpha_{in}$  и  $\eta_i$  от  $j$  при различных температурах и параметрах структур. На качественном уровне полученные зависимости хорошо понятны. Использование этих зависимостей (глава 4) и теоретических моделей автора диссертации (глава 5) позволяет идентифицировать механизмы аккумуляции носителей в волноводных слоях, уже оказало (глава 4) и окажет в дальнейшем большую пользу при конструировании мощных полупроводниковых лазеров.

### **Обоснованность научных положений сформулированных в диссертации.**

Сформулированные в диссертации научные положения хорошо обоснованы и резюмируют наиболее важные научные результаты, полученные в работе. В то же время, как уже отмечалось, сами научные результаты актуальны, достоверны, оригинальны и изложены в диссертации достаточно полно и четко.

Основные результаты диссертационной работы апробированы на Российских и международных конференциях и изложены в профильных и высокорейтинговых научных журналах.

Автореферат написан хорошо и отражает основное содержание диссертации.

### **Замечания**

- 1.** В диссертации отмечено, что максимальная пиковая мощность, созданных при участии диссертантки, импульсных лазеров, составила 90Вт при ширине полоска 100мкм и импульсном токе накачки 200А, что, как отметила соискательница «соответствует лучшим мировым значениям мощности». В работе, однако, отсутствует детальное сравнение величин внутренних оптических потерь в лазерах, исследуемых автором диссертации, с соответствующими величинами в мощных импульсных полупроводниковых лазерах, исследуемых в других лабораториях.
- 2.** В диссертации основное внимание уделено мощным импульсным лазерам. В настоящее время наиболее востребованы лазеры генерирующие импульсы 1-20нс, т.е. лазеры при работе которых саморазогрев отсутствует даже в лазерах с малой длиной (~1мм ). С другой стороны, в лазерах с малой длиной потери на выход велики и соответственно величина внешней квантовой эффективности может быть увеличена. Это особенно верно, когда поглощение в р-части волновода подавлено за счет приближения ее к р-эмиттеру. А выброс носителей из активной области (АО) в волновод подавлен за счет уменьшения пороговой концентрации носителей в АО при изготовлении структуры т.о., чтобы величина Гамма фактора ( $\Gamma_a$ ) для активной области толщиной  $\sim 200\text{\AA}$  превышала величину  $\sim 0.03$  . Отмечу также, что вредные эффекты, связанные с неоднородным распределением света по длине резонатора, будут значительно меньше в лазерах с коротким резонатором. Описываемые в диссертации импульсные лазеры имеют длину 3-5мм. Я полагаю, что если лазерная структура будет выращена такой, как указано выше, то на лазерах длиной 1-2мм, можно будет получить большую импульсную мощность, чем указана в диссертации. Вопросы, отмеченные выше в этом пункте, подробно не анализировались в диссертации. Я надеюсь, что после защиты диссертации ее автор продолжит свои исследования и рассмотрит указанный метод повышения импульсной мощности полупроводниковых лазеров.
- 3.** Предыдущие замечания касались лазеров, в которых саморазогрев отсутствует. Речь шла о саморазогреве решетки, величину которого автор диссертации оценивала в своей работе.

Однако существует разогрев носителей в активной области не обусловленный разогревом решетки. Этот разогрев всей массы носителей возникает при захвате инжектируемых в АО носителей, за счет взаимодействия носителей друг с другом (межэлектронные столкновения,...). Такой разогрев носителей в АО полупроводниковых лазеров, в принципе, описан в литературе. В диссертации не рассмотрен вопрос о важности разогрева носителей относительно решетки в исследуемых структурах.

4. Теоретические оценки проведены автором диссертации только для лазеров с расширенными волноводами. Возникает естественный вопрос: почему такие же оценки не были сделаны для лазеров со сверхтонкими волноводами?
5. При теоретической оценке вкладов различных механизмов поглощения в эффект уменьшения мощности, генерируемого лазерами излучения, в диссертации учитывалось неоднородное распределение мощности излучения внутри лазеров по длине резонатора. Полезно было бы знать, насколько важен, согласно теоретическим расчетам, проведенным в диссертации, учет этой неоднородности в зависимости от длины лазера.

Указанные замечания никак не меняют общую **высокую оценку** диссертационной работы.

По моему мнению, диссертация Кириченко (Бобрецовой) Ю.К. представляет собой самостоятельную, выполненную на высоком уровне, научно-квалификационную работу. В диссертации содержатся результаты, имеющие важное значение для создания мощных полупроводниковых лазеров.

Диссертационная работа Кириченко (Бобрецовой) Ю.К. “Внутренние оптические потери в мощных полупроводниковых лазерах на основе AlGaAs/InGaAs/GaAs гетероструктур” по своей актуальности, научной новизне, достоверности и практической значимости результатов соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук» (от 20.12.2021) предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Кириченко (Бобрецова) Юлия Константиновна, **заслуживает** присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10-физика полупроводников (1.3.11-физика полупроводников, в соответствии с приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 N 118).

13 сентября 2022

Рывкин Борис Соломонович

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник,

Лаб. интегральной оптики на гетероструктурах,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН Старший научный сотрудник

Адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

Телефон: (812) 292-73-69.

e-mail: ryvkin@switch.ioffe.ru