

Отзыв официального оппонента

**на диссертационную работу Понариной Марии Владимировны
«Пассивная синхронизация мод со сверхвысокой частотой повторения
импульсов в твердотельных волноводных лазерах с использованием
графена», представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – Лазерная физика**

Создание лазеров, работающих в режиме синхронизации мод и генерирующих световые импульсы с гигагерцовыми частотами повторения открывает новые возможности решения многих задач в широком ряде современных областей науки и техники, таких как метрология, характеристика химических реакций, обработка материалов, терагерцовая техника, а также в информационных технологиях - при решении проблем оптической связи и микроволновой фотоники (радиофотоники). Совершенствование характеристик таких лазеров представляется в настоящее время чрезвычайно практически востребованной задачей. С учётом отмеченного, диссертационная работа Понариной Марии Владимировны, посвящённая исследованию компактных волноводных лазеров на основе твердотельных активных сред, обладает несомненной актуальностью.

В диссертации исследуются лазеры с пассивной синхронизацией мод, работающие в диапазоне длин волн 1-2 мкм со сверхвысокой частотой повторения импульсов. Компактные лазеры с частотой повторения импульсов около 10 ГГц, впервые представленные в данной диссертации, разработаны на базе оригинального подхода, основанного на использовании волноводных структур, создаваемых внутри активной среды, при этом насыщающиеся поглотители реализуются на основе графена. За счёт использования данного подхода для построения лазерных источников со сверхвысокой частотой повторения импульсов обеспечиваются такие важные качества, как компактность и модовая чистота излучения лазера. Проведённый анализ спектрально-временных характеристик излучения волноводных лазеров демонстрирует применимость таких лазеров для создания высокочастотных генераторов с перестраиваемой частотой. Волноводный Nd: YAG лазер, работающий в двухволновом

режиме, применим для генерации терагерцового излучения на разностной частоте между длинами волн 1061 и 1064 нм. Прделанные расчёты спектрально-временных характеристик излучения лазера и реализованные эксперименты показывают возможность переключения между одно- и двухволновым режимом работы волноводных лазеров с помощью контроля параметров излучения накачки и точной настройки внутррезонаторных потерь. Также в диссертационной работе продемонстрировано применение волноводного Nd: YAG лазера в качестве задающего генератора для усиливающей волоконно-оптической системы. Таким образом, работа обладает как научной новизной в области лазерной физики, так и практической значимостью для создания лазеров со сверхвысокой частотой повторения импульсов.

Содержание диссертационной работы изложено на 102 страницах. Текст диссертации логически последователен, аккуратно оформлен, написан понятно, хорошим литературным языком. Текст состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы, снабжён в полной мере иллюстративным материалом.

Во введении обоснована актуальность исследования, указаны цель и задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, представлены сведения об апробации результатов работы и о личном вкладе автора.

В главе 1 приведён весьма качественный краткий обзор научной литературы по тематике диссертации, представлены результаты анализа публикаций, касающихся генерации ультракоротких импульсов с гигагерцовой частотой повторения, а также описано влияние дисперсии групповых скоростей на режим синхронизации мод. Также показана актуальность использования волноводных лазеров для осуществления лазерной генерации в режиме синхронизации мод с гигагерцовой частотой повторения импульсов.

Глава 2 посвящена разработке волноводных Nd: YAG лазеров с частотой повторения импульсов 9.5 и 9.8 ГГц и исследованию динамики генерации данных лазеров в режиме пассивной синхронизации мод, реализуемой за счет насыщающегося поглотителя на основе графена. Экспериментально получен режим пассивной синхронизации мод в волноводном Nd: YAG лазере с насыщающимся поглотителем на основе графена при одновременной генерации на длинах волн 1061 и 1064 нм при

комнатной температуре с помощью контроля внутрирезонаторных потерь. Также экспериментально получен режим пассивной синхронизации мод с использованием насыщающегося поглотителя на основе графена на длине волны 1061 нм в волноводном Nd: YAG лазере с частотой повторения импульсов 9.8 ГГц, путем фильтрации излучения на длине волны 1064 нм в режиме двухволновой генерации. Проведён и экспериментально подтверждён численный расчёт внутрирезонаторных потерь и времени задержки импульсов в волноводном Nd: YAG лазере, в котором существует воздушный зазор между непросветлённым торцом активной среды и выходным зеркалом. Продемонстрирована возможность переключения между одно- (1064 нм) и двухволновым (1061 нм + 1064 нм) режимом работы волноводного Nd: YAG лазера с помощью контроля параметров излучения накачки и точной настройки внутрирезонаторных потерь.

В главе 3 представлены экспериментальные результаты работы по волноводному Tm: YAP лазеру с гигагерцовой частотой повторения импульсов. Внутри кристалла Tm: YAP были созданы волноводные структуры диаметром 30 мкм. Режим пассивной синхронизации мод осуществлялся за счёт применения насыщающегося поглотителя на основе графена, нанесённого непосредственно на выходное зеркало резонатора. Продемонстрирована работа лазера в режиме синхронизации мод с модуляцией добротности. Период модуляции, связанной с синхронизацией продольных мод резонатора, соответствовал частоте повторения импульсов 8 ГГц.

В заключении диссертации кратко сформулированы её основные результаты и выводы.

Работа в целом производит впечатление законченного исследования, обладающего, несомненно, актуальностью, научной новизной и практической значимостью. Тема диссертации полностью соответствует специальности 01.04.21 - Лазерная физика. Достоверность полученных данных обеспечивается использованием известных и непротиворечивых физических и математических методов и применением современной экспериментальной базы и передового контрольно-измерительного оборудования. Основные результаты опубликованы автором в 8 статьях в ведущих физических рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК, а также апробированы докладами, представленными на 13-ти всероссийских и международных конференциях.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Автор отмечает в качестве одной из задач работы повышение стабильности синхронизации мод. Однако в тексте диссертации не раскрывается данных о показателях стабильности и их оценке.
2. В работе широко обсуждаются преимущества использования волноводных структур, созданных в твердотельной активной среде, и почти не рассматриваются их недостатки. Однако, представленные в работе волноводные Nd: YAG лазеры обладают относительно низким КПД, например, по сравнению с «объемными» Nd: YAG лазерами.
3. В работе не обсуждаются практически важные, на мой взгляд, перспективы или возможности уменьшения длительности и повышения энергетики импульсов излучения разрабатываемых лазеров.
4. В работе не рассматриваются вопросы, связанные с фазовыми шумами и обусловленной ими апертурной ошибкой («джиттером») импульсных последовательностей излучения исследуемых лазеров, а эти вопросы чрезвычайно важны с точки зрения метрологических и телекоммуникационных применений.
5. В тексте имеются некоторые терминологические неточности, например на с.48 написано «частотный и оптический спектр», вместо «радиочастотный и оптический спектры»; по тексту различаются «непрерывные» и «импульсные» лазеры, однако режим синхронизации мод является непрерывным процессом, с этой точки зрения лазеры в режиме синхронизации мод генерируют непрерывно; имеются также несущественные опечатки по тексту.

Впрочем, безусловно, все указанные замечания не уменьшают значимость работы и носят в большей степени рекомендательный характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

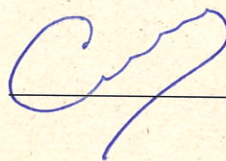
Диссертационная работа «Пассивная синхронизация мод со сверхвысокой частотой повторения импульсов в твердотельных волноводных лазерах с использованием графена» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной

степени кандидата наук, а её автор, Понарина Мария Владимировна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Профессор Отделения лазерных и
плазменных технологий офиса
образовательных программ (412) / Института
лазерных и плазменных технологий НИЯУ
МИФИ

д.ф.-м.н.



/ Р.С. Стариков

«18» августа 2022г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ),

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д.31.

Тел.: +7 (903) 526-44-59, E-mail: rstarikov@mail.ru



Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

В.М. Сашорезова