

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Худякова Дмитрия Владимировича  
**"Волоконные иттербиевые лазеры ультракоротких импульсов, методы генерации и усиления импульсов"**, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика

Диссертационная работа Худякова Д.В., краткое содержание которой представлено в автореферате, посвящена исследованию генерации и усиления ультракоротких импульсов в полностью волоконных иттербиевых лазерах на длине волны вблизи 1 мкм, а также методам модификации показателя преломления при фемтосекундном облучении прозрачных сред для создания интегральных оптических устройств, в частности усилителей с большой площадью волноводной моды. Тема диссертации актуальна и востребована. Структурно диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе приводятся общие сведения об описании распространения фемтосекундного лазерного излучения в волокнах, методах их генерации с помощью лазеров с синхронизацией мод, а также обсуждаются вопросы лазерной микромодификации показателя преломления прозрачных материалов.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию волоконных лазеров с синхронизацией мод, осуществляемой с помощью нелинейного вращения эллипса поляризации излучения при распространении в волокне. Предложен оригинальный метод оптимального расположения волокна при намотке кольцевого волоконного резонатора на объемном держателе, при котором происходит компенсация наведенного дихроизма. Кроме того, детально исследован лазер с синхронизацией мод за счет нелинейного петлевого зеркала, получены зависимости режимов работы и длительности выходного импульса от ключевых параметров лазера, показано, что длительность импульса можно контролировать в диапазоне от нескольких десятков пикосекунд до нескольких сотен пикосекунд.

В третьей главе представлено детальное исследование свойств насыщающихся поглотителей на основе одномерных и двумерных наночастиц (одностенные углеродные нанотрубки, графен и тонкие слои дисульфида молибдена), а также их использование для достижения синхронизации мод в ближнем инфракрасном диапазоне. Важным практическим результатом стала разработка волоконного лазера с гибридным насыщающимся поглотителем (на основе одностенных углеродных нанотрубок и нелинейного вращения эллипса поляризации излучения), генерирующего импульсы с энергией 10 нДж и длительностью 12 пс, которые могут быть сжаты до 140 фс.

В четвертой главе рассмотрены методы усиления фемтосекундных импульсов до энергий в единицы и десятки мкДж на длине волны около 1 мкм в компактных волоконных схемах. Большое внимание уделено достижению согласованности дисперсионных характеристик волоконного стретчера и решеточного компрессора в схеме усиления чирпированных импульсов. Для этого найдено оригинальное решение, состоящее в использовании дисперсионно-компенсирующего волокна со специальным профилем показателя преломления W-типа, которое позволяет подобрать дисперсию волоконного стретчера так, чтобы компенсировались второй и третий порядок дисперсии компрессора. С помощью данного подхода экспериментально продемонстрирована генерация импульсов с энергией 3 мкДж и длительностью 250 фс с высоким контрастом импульса в полностью волоконной схеме (за исключением выходного решеточного компрессора). Также исследован режим усиления, в котором исходные достаточно длинные и узкополосные импульсы спектрально уширяются в усилителе и сжимаются в компрессоре до длительности существенно меньшей исходной. В численном моделировании найдены условия, при которых нелинейный набег фазы в данном режиме усиления может частично компенсировать влияние дисперсии третьего порядка.

В пятой главе представлено исследование методов оптической записи волноводов в прозрачных материалах с помощью модификации показателя преломления при воздействии ультракоротких импульсов. Определены характерные области параметров импульсов, требуемых для перманентного изменения показателя преломления. Выявлены особенности формирования структур с областями повышенного и пониженного показателя преломления в кварцевых и фосфатных стеклах при воздействии фемтосекундного излучения. Впервые экспериментально продемонстрирована возможность записи волноводов с депрессированной оболочкой с помощью фемтосекундной модификации в материалах, у которых происходит повышение показателя преломления в фокальной области. Волноводы с депрессированной оболочкой играют важную роль в достижении большой эффективной площади моды, поэтому запись подобных волноводов в кварцевом стекле перспективна для разработки мощных лазерных систем. Кроме того, предложен и экспериментально реализован новый метод фемтосекундной записи структур с модифицированным показателем преломления в существенно расширенном диапазоне глубин под поверхностью образца.


В целом, результаты представленные в диссертации являются новыми и актуальными. Экспериментальные результаты согласуются с численным моделированием, что подтверждает их достоверность. Важно отметить направленность работы на практическую реализацию востребованных лазерных систем; в частности, на основе предложенных схем построен коммерческий лазер, опробованный в составе хирургического комплекса для офтальмологии. По материалам диссертации опубликовано 17 статей в журналах из перечня ВАК России.

Автореферат диссертации написан понятным научным языком. В качестве замечания можно отметить, что в автореферате следовало бы кратко привести сведения о модели, на основе которой были проведены численные исследования режимов генерации лазеров ультракоротких импульсов в главах 2 и 3. Кроме того, в главе 5 приведены результаты записи волноводов в неодимовых фосфатных стеклах, однако далее упоминается усиление в кристалле. Вероятно, все же имеется в виду усиление в активном лазерном элементе из стекла, легированного неодимом. Указанные замечания несколько не снижают научную значимость работы и достоверность полученных результатов.

Судя по автореферату, диссертационная работа Худякова Дмитрия Владимировича соответствует всем требованиям положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика.

Заведующий лабораторией квантовой и нелинейной оптики сильно локализованных полей  
Федерального государственного бюджетного  
научного учреждения «Федеральный исследовательский  
центр Институт прикладной физики Российской академии наук»  
к.ф.-м.н., специальность 01.04.21 - лазерная физика  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46  
8(831)4189046, andrian@ipfran.ru

08.09.2021



Андрианов Алексей Вячеславович

Подпись Андрианова А.В. удостоверяю:

Ученый секретарь ИПО РАН,  
к.ф.-м.н.



Корюкин И.В.