

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Худякова Дмитрия Владимировича «Волоконные иттербиевые лазеры ультракоротких импульсов, методы генерации и усиления импульсов», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 — лазерная физика

Диссертационная работа Худякова Дмитрия Владимировича посвящена исследованию способов генерации и усиления ультракоротких импульсов в полностью волоконных иттербиевых лазерах, а также механизмов модификации показателя преломления прозрачных сред при фемтосекундном облучении для создания интегральных оптических устройств. Результаты, представленные в диссертации, охватывают период около двадцати последних лет. В это время активно развивались направления, связанные с исследованием волоконных лазерных источников ультракоротких импульсов, в частности волоконных генераторов с различными дисперсионными схемами резонатора, а также волоконных усилительных схем с компенсацией нелинейных и дисперсионных эффектов. Получил развитие целый ряд новых областей в нелинейной оптике материалов низкой размерности, касающихся, в том числе изучения пассивной синхронизации мод импульсных лазеров с помощью композитных материалов и структур на их основе. Тематика диссертационной работы тесным образом связана со всеми перечисленными областями, так что ее актуальность не вызывает никаких сомнений.

Содержание диссертационной работы изложено на 300 страницах. Диссертация включает 177 рисунка и список литературы из 321 наименования. Материалы диссертации опубликованы в 26 печатных работах, из которых 17 работ в журналах, из списка рекомендованных ВАК.

Во введении обоснована актуальность исследования, указаны цели и задачи диссертационной работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, и обоснования достоверности полученных результатов, описан личный вклад автора. Обращает на себя внимание широкая апробация результатов работы, которые были представлены на более чем двух десятках российских и

международных конференциях. Автором зарегистрированы 5 патентов по теме диссертационного исследования, что подтверждает практическую ценность данной работы.

Научная новизна и практическая значимость диссертационной работы определяется в каждой конкретной главе по ходу изложения материала

В первой главе диссертации, который является подробным обзором литературы, диссертант рассматривает основные явления, происходящие при распространении импульсного излучения в оптических волокнах. Необходимо подчеркнуть, что сложный материал изложен последовательно и доступно. Выводы первой главы и математические выкладки затем используются для описания процессов в последующих экспериментальных главах диссертации.

Во второй главе подробно изложены методы генерации сверхкоротких импульсов, основанные на принципах быстрой модуляции коэффициента преломления оптических волокон при прохождении мощного импульсного излучения. Автором предложен оригинальный метод расположения волокна при намотке кругового волоконного резонатора, при котором происходит компенсация наведенного дихроизма на участках изгиба волокна. Предложенный способ намотки можно с успехом применять в импульсных волоконных лазерах для уменьшения поляризационной нестабильности выходного излучения. Выполнен численный расчет и представлены зависимости режимов работы и длительности выходного импульса от ключевых параметров лазера с нелинейным волоконным зеркалом. Такое подробное описание режимов работы волоконного лазера с нелинейным волоконным зеркалом в зависимости от ключевых параметров задействованных элементов выполнено впервые.

В третьей главе автором представлено детальное исследование оптических свойств широкополосных насыщающихся поглотителей на основе одномерных и двумерных наночастиц, таких как одностенные углеродные нанотрубки, графен и тонкие слои дисульфида молибдена. Необходимо отметить, что диссертантом был выполнен сравнительный анализ оптических свойств выбранных соединений, а также предложены кинетические схемы оптических переходов для объяснения экспериментальных данных, что, несомненно, усиливает теоретическую и практическую ценность данной работы. Одним из ключевых

выводов Главы 3 является определение зон стабильности импульсной генерации в волоконных лазерах в зависимости от полной величины дисперсии резонатора и глубины модуляции насыщающегося поглотителя. Результаты исследования зон стабильности для волоконных генераторов ультракоротких импульсов необходимы для создания эффективных и надежных источников лазерных импульсов фемтосекундной длительности.

В четвертой главе представлены методы усиления фемтосекундных импульсов до энергий в единицы и десятки микроджоулей на длине волны 1 мкм в компактных волоконных схемах. В данной работе показано использование высоколегированного германосиликатного световода с W-профилем показателя преломления в качестве стретчера для последующего усиления и сжатия ультракоротких импульсов в полностью волоконном лазере на длине волны 1.03 мкм. Используя дисперсионные свойства таких световодов, позволяющие значительно увеличивать длительность импульса на короткой длине световода, а также компенсировать положительную дисперсию третьего порядка выходного компрессора на дифракционных решетках, получены усиленные импульсы с энергией в несколько микроджоулей и длительностью 250 фс без пикосекундного пьедестала. Приводится сравнительный анализ нескольких типов световодов для использования в стретчерах сверхкоротких лазерных импульсов с точки зрения их дисперсионной совместимости с выходным компрессором на дифракционных решетках. Разработанный волоконный фемтосекундный лазер прошел успешные испытания в составе действующего хирургического комплекса для коррекции зрения.

В пятой главе диссертации изложены методы оптической записи световодов в прозрачном материале, определены характерные параметры световых импульсов и рабочих зон для перманентного изменения показателя преломления. Важнейшими результатами этой главы можно считать подробные диаграммы режимов фемтосекундной записи в зависимости от энергии и частоты следования импульсов, полученные для кварцевого стекла и Nd:фосфатного стекла. Такие диаграммы режимов прямой фемтосекундной записи получены впервые и могут быть использованы для создания устройств световодной фотоники, в том числе применяться для создания гибридных

усилителей с повышенной оптической эффективностью.

Диссертант уверенно пользуется необходимыми экспериментальными методами исследований, к числу которых можно отнести импульсную спектроскопию с временным разрешением, продольное сканирование (z-scan), сканирование мощности (p-scan), неколлинеарную генерацию второй гармоники для измерения длительности импульса, количественную фазовую микроскопию для анализа профилей лазер-индуцированных световодов. Присутствие одностенных углеродных нанотрубок, графеновых слоев и слоев дисульфида молибдена, а также их концентрация в образцах регистрировались и контролировались с помощью оптической и Рамановской спектроскопии. При этом распределение наночастиц в образцах и размеры получаемых структур измерялись с помощью точных методик – атомно-силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Все результаты, изложенные в экспериментальных главах являются оригинальными, автор демонстрирует владение всеми перечисленными методами экспериментальных исследований и анализа экспериментальных данных, а также глубокое знание и понимание физики изучаемых процессов. Во всех главах для анализа экспериментальных результатов используются результаты теоретических расчетов, что, несомненно, усиливает теоретическую значимость проделанной работы.

Таким образом, в диссертации представлены обширные результаты многолетних экспериментальных исследований диссертанта в области волоконной лазерной физики. Хотелось бы отметить высокую культуру изложения обширного материала, логичность и структурированность диссертации. Полученные результаты представляют собой заметный вклад в физику волоконных лазеров ультракоротких импульсов, а также послужат стимулом для дальнейших экспериментальных и теоретических исследований в области нелинейной оптики новых материалов, световодной фотоники, импульсной спектроскопии и точной лазерной микрообработки.

Что касается замечаний по диссертационной работе, то

1. В параграфе 1.6 достаточно подробно описывается переход от волнового уравнения к нелинейному уравнению Шредингера, в то же время отсутствует обоснование перехода от оператора Лапласа по

координатам (x, y, z) к оператору Лапласа только по поперечным координатам и сохранению только первой производной по координате распространения z .

2. При численном решении нелинейного уравнения Шредингера в главе 4 для компенсации дисперсии третьего порядка при нелинейном усилении не указаны параметры расчетных сеток, не показаны зависимости интенсивности и фазы импульса на различных расстояниях распространения. На рис. 4.21 показаны лишь значения фазового сдвига, необходимые для компенсации значений дисперсии третьего порядка в нелинейном волоконном усилителе. При этом показано всего четыре расчетных значения сдвига. Сплошная кривая, соединяющая расчетные значения, не описана и соответствующее кривой уравнение не указано. На этой же кривой показана всего одна экспериментальная точка. При этом результат расчетов указывается как важный и впервые полученный. Если результат важен, необходимо детально обсудить все параметры расчета и объяснить, почему только одна экспериментальная точка показана на рисунке.
3. Найденное автором уменьшение пьедестала импульса в результате компенсации дисперсии третьего порядка в условиях нелинейной фазовой самомодуляции является важным результатом. Возникает вопрос, почему не были произведены детальные измерения огибающей и фазы импульса, например, с помощью методики SPIDER?
4. В главе 5 при описании записи оптических волноводов показаны расчетные графики зависимости температуры в центре фокального пятна от времени при энергии в импульсе 100 нДж и различных частотах следования импульсов. При этом не приведено никакой ясной теоретической оценки увеличения температуры при увеличении частоты следования воздействующих на материал импульсов. Не показана связь температуры с числом свободных электронов в фокальном объеме. Такая оценка помогла бы выявлению оптимальных материалов и параметров излучения для модификации прозрачных диэлектриков.

Все указанные замечания носят непринципиальный характер и не влияют на положительную оценку диссертации. Считаю, содержание работы Худякова Дмитрия Владимировича и форма ее представления полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки России в редакции Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. за №842, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор обладает высокой квалификацией и достоин присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Автореферат и опубликованные работы полностью и точно отражают содержание диссертации.

Официальный оппонент,
доцент МГУ им. М.В.Ломоносова
д.ф.-м.н., профессор

О.Г. Косарева

Физический факультет Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
государственный университет имени М.В.Ломоносова»,
119991 Москва, Воробьевы горы, д. 1, стр. 2, e-mail: kosareva@physics.msu.ru

По Декан а
Физического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова,
профессор
14.09.2021

15.



Н.Н.Сысоев